Dr. WALTER DAUDT

RADIO-TEHNIKA

DRUGI DIO



TEHNIČKA KNJIGA
ZAGREB 1963

Dr Walter Daudt:

RADIO-TEHNIKA

II DIO

Naslov originala:

FUNKTECHNIK

Teil II

von

Dr WALTER DAUDT, Berlin

Dr WALTER DAUDT

RADIO-TEHNIKA

II DIO

UPOTREBA ELEKTRONKI U PRIJEMNICIMA, POJAČALIMA I ODAŠILJAČIMA • FREKVENTNA MODULACIJA • OSNOVE TRANZISTORSKE TEHNIKE

TEHNIČKA KNJIGA
ZAGREB 1963

PREDGOVOR

Potaknuti uspjehom što ga je imalo prvo izdanje Daudtove »Radiotehnike« odlučili smo se na novo izdanje ovog vrijednog djela. Prva knjiga »Fizikalne osnove radiotehnike« izašla je pred dvije godine, bez ikakve promjene prema prvom izdanju. Ova, druga knjiga proširena je s dva dodatka domaćih autora, i to s »Frekventnom modulacijom« ing. M. Gregurića i »Osnovima tranzistorske tehnike« ing. B. Someka. Treća knjiga, koja će također biti dopunjena obradom dostignuća savremene tehnike iz područja koja knjiga obrađuje, priređuje se za štampu.

Vjerujemo da će ova knjiga ovako proširena i dopunjena, naići kod čitalaca stručnjaka i amatera na isti prijem na koji je naišlo njezino prvo izdanje prije desetak godina.

Zagreb, srpnja 1963.

IZDAVAČ

Tisak »Vjesnik«, Zagreb

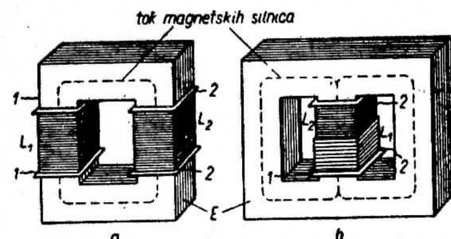
I. Opskrba energijom uređaja s elektronkama

Mrežni transformator

1. — U dijelu I »Radiotehnike« upoznali smo se detaljno s fizikalnim osnovima radiotehnike, pa sada možemo prijeći na tehnička pitanja prijemnika, pojačala i odašiljača s elektronkama. Svakome od ovih uređaja potrebna je za pogon stanovita električka energija, jer svakoj je elektronki potreban napon za žarnu nit, za anodu i za rešetku, kako bi struja kroz nju uopće mogla teći. Najjednostavnije je potrebnu električku energiju uzeti iz *baterija* (baterija za žarnu nit, anodna baterija i baterija za rešetkin prednapon). Iako je ovakav baterijski pogon tehnički najjednostavniji, on je ipak skup i nezgodan zbog toga, što se baterije brzo troše. To je razlog da danas većina uređaja koji rade s elektronkama uzima energiju iz rasvjetne mreže. Baterije se upotrebljavaju jedino još tamo gdje rasvjetne mreže nema, ili u prijenosnim uređajima (na primjer u putnim prijemnicima, mikrofonskim pojačalima itd.). Za anodu i rešetku potreban je uvijek istosmjerni napon, dok se žarna nit može priključiti i na izmjenični napon. Ako se aparat priključuje na *mrežu istosmjernog napona* potrebno je visoki napon mreže (110 do 220 V) radi žarenja elektronki znatno sniziti pomoću predotpora. Prilikom priključivanja na *mrežu izmjenične struje* može se vrlo dobro iskoristiti prednost izmjeničnog napona, da se dade transformirati na višu ili nižu vrijednost, već prema potrebi. S druge pak strane moramo u ovom slučaju potrebne istosmjerne napone dobiti pretvaranjem izmjeničnog napona u istosmjerni pomoću posebnih »ispravljača«. Kako aparati za priključak na mrežu izmjenične struje imaju danas veliko značenje, pozabavit ćemo se njima naročito opširno, a da pri tome ipak ne zanemarimo posve aparate kojima za pogon služi mreža istosmjerne struje ili baterije.

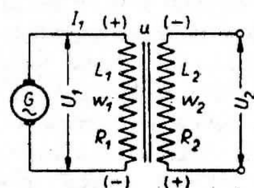
2. — Ispravljački dio aparata konstruiranog za pogon iz mreže izmjenične struje sastoji se uglavnom od mrežnog transformatora,

ispravljača i filtarskog uređaja. *Mrežni transformator* mora davati sve napone koji su potrebni za pogon elektronki, dakle napon za žarne niti, za anode i za rešetke. Mrežni transformator sastoji se u najjednostavnijem slučaju od dviju zavojnica L_1 i L_2 koje su smještene na zatvorenu željeznu jezgru E (sl. 1). Već prema razmještaju zavojnica na željeznoj jezgri razlikujemo t r a n s f o r m a t o r sa d v a (sl. 1a) i sa t r i r e b r a (sl. 1b). Kod ovog posljednjeg nalaze se sve zavojnice na srednjem rebru jezgre. Zavojnica L_1 koja uzima električku energiju, koja je dakle priključena na rasvjetnu mrežu, naziva se *primarnom zavojnicom* ili *primarom;* zavojnica L_2 koja daje električku energiju, naziva se *sekundarnom zavojnicom* ili *sekundarom.*



Sl. 1.

3. — Kad kroz zavojnicu L_1 teče izmjenična struja stvara se u željeznoj jezgri magnetski tok Φ, koji se mijenja s frekvencijom napona mreže (izmjenični tok). Uslijed promjene toga toka inducira se po zakonu indukcije u sekundarnoj zavojnici L_2 napon. Za početak ćemo uzeti da sve silnice magnetskog toka primarne zavojnice prolaze kroz željeznu jezgru, a prema tome i kroz sekundarnu zavojnicu (sl. 1), to jest da nigdje iz željezne jezgre ne izlaze i da ne idu mimo sekundarne zavojnice L_2. Isključujemo dakle svako »rasipanje« silnica, što će stvarnosti približno i odgovarati. Razmotrimo najprije djelovanje n e o p t e r e ć e n o g t r a n s f o r m a t o r a, to jest transformatora s o t v o r e n o m sekundarnom zavojnicom (»prazan hod«). Neka induktiviteti, brojevi zavoja i radni otpori primarne i sekundarne zavojnice budu L_1, w_1, R_1 i L_2, w_2, R_2 (pogledaj oznaku za transformator sa željeznom jezgrom na sl. 2). Ako je zavojnica L_1 priključena na napon U_1 djelovat će ona kao obična prigušnica (vidi dio I, odsjek 18). Struja I_1 koja teče kroz zavojnicu L_1 (»struja praznog hoda«) uzrokovat će u zavojima te zavojnice zbog promjene toka samoinduktivnu elektromotornu silu (vidi dio I, odsjek 14), koja se prema jedn. (11) iz dijela I može izračunati: $E_1 = 4{,}44 \cdot w_1 \cdot f \cdot \Phi_m \cdot 10^{-8}$ [V], ako je f frekvencija izmjenične struje u [Hz], a Φ_m maksimalna vrijednost magnetskog toka u [M]. Stavimo li prama dijelu I, odsjek 2. na Φ_m vrijednost $F \cdot \mathfrak{B}_m$ (F = površina kroz koju magnetske silnice prolaze u okomitom smjeru = presjek željeza u [cm²], $\mathfrak{B}_m$ = maksimalna magnetska indukcija = maksimalni broj silnica po cm² u gausima [G], (vidi dio I, odsjek 2), dobivamo za efektivnu vrijednost elektromotorne sile samoindukcije u primarnoj zavojnici:



Sl. 2.

$$E_1 = 4{,}44 \cdot w_1 \cdot f \cdot F \cdot \mathfrak{B}_m \cdot 10^{-8}\ [\mathrm{V}] \quad \ldots\ldots (1)$$

Ovu elektromotornu silu mora napon na priključnicama U_1 svladati da bi struja I_1 uopće mogla teći. Kako je radni otpor R_1 primarne zavojnice u većini slučajeva vrlo malen, bit će napon na priključnicama U_1 praktički jednak protivnoj elektromotornoj sili samoindukcije, dakle $U_1 = -E_1$. Promjenljiv tok u željeznoj jezgri uzrokuje međutim i u sekundarnoj zavojnici L_2 elektromotornu silu E_2 proporcionalnu broju zavoja w_2. Za savršeni transformator vrijedi:

$$E_2 = 44{,}4 \cdot w_2 \cdot f \cdot F \cdot \mathfrak{B}_m \cdot 10^{-8}\ [\mathrm{V}] \quad \ldots\ldots (2)$$

Kod neopterećenog sekundara (prazni hod) podudara se EMS E_2, koja je u fazi s E_1, s naponom na priključnicama U_2, pa je prema tome $U_2 = -E_2$. Podijelimo li jedn. (1) s jedn. (2), dobivamo:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = ü \quad \ldots\ldots (3)$$

Riječima: *Elektromotorne sile samoindukcije, a približno i naponi na priključnicama, odnose se kao odgovarajući brojevi zavoja.* Odnos broja zavoja $ü = w_1/w_2$ naziva se *prijenosnim odnosom* transformatora.

4. — Ako primarni namotaj ima isto toliko zavoja kao i sekundarni ($w_1 = w_2$), onda je $ü = 1$, a ulazni napon jednak je izlaznom naponu ($U_1 = U_2$). Što je veći broj zavoja w_2 sekundarnog namotaja, to će prema jedn. (2) biti veći i napon U_2. Obrnuto će biti ako sekundarni namotaj ima manje zavoja od primarnog. Općenito možemo zgodnim izborom prijenosnog odnosa $ü$ dobiti svaku vrijednost napona U_2. Pomoću transformatora moguće je dakle svaki izmjenični napon »t r a n s f o r m i r a t i« na viši ili niži napon iste frekvencije. Za $w_2 > w_1$, dakle za $ü < 1$, bit će $U_2 > U_1$, pa govorimo o p o d i z a n j u napona, namotaj sa w_1 zavoja nazivamo namotajem n i ž e g n a p o n a, a namotaj sa w_2 zavoja namotajem v i š e g n a p o n a. Za $w_2 < w_1$, dakle za $ü > 1$, imamo $U_2 < U_1$, to jest transformiranje na n i ž e. U tom slučaju je namotaj sa w_1 zavoja namotaj višeg napona, a namotaj sa w_2 zavoja namotaj nižeg napona. Što su viši naponi u zavojnicama, a naročito u zavojnici višeg napona, to bolje moraju biti izolirane zavojnice između sebe i prema željeznoj jezgri, da ne bi došlo do preskakivanja iskri. Kod dobro izvedenih mrežnih transformatora zavojnice su namatane u slojevima, a ti su međusobno dobro izolirani na ljenim papirom ili platnom.

Ponavljanje

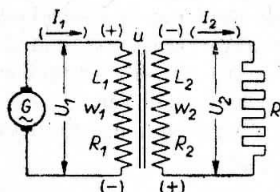
Za i z v o r e n e r g i j e za aparate s elektronkama dolaze u obzir baterije, mreža istosmjerne struje i m r e ž a i z m j e n i č n e s t r u j e. Ako se pogonska energija ovakvog aparata uzima iz mreže izmjenične struje, mora se upotrebiti ispravljač koji će izmjenični napon pretvoriti u istosmjerni. Anode i rešetke elektronki moraju naime imati istosmjerne

napone, dok se žarna nit elektronke može žariti i izmjeničnom strujom. Napon iz mreže izmjenične struje transformira se na potreban iznos m r e ž n i m t r a n s f o r m a t o r o m. Mrežni transformator se u najjednostavnijem slučaju sastoji od jednog primarnog i jednog sekundarnog namotaja namotanog na zatvorenu željeznu jezgru. Izmjenična struja koja teče kroz primar stvara u željeznoj jezgri izmjenični magnetski tok, uslijed kojega se u sekundarnom namotaju inducira izmjenični napon. Napone na priključnicama obaju namotaja možemo izračunati iz opće jednadžbe: $U = 4{,}44 \cdot w \cdot f \cdot F \cdot \mathfrak{B}_m \cdot 10^{-8}$ [V], ako imamo transformator bez rasipanja i s namotajima bez otpora. Kod savršenog transformatora odnose se EMS samoindukcije i naponi na priključnicama kao odgovarajući brojevi zavoja: $E_1/E_2 = U_1/U_2 = w_1/w_2 = \ddot{u}$. Odnos broja zavoja $\ddot{u}$ naziva se p r i j e n o s n i m o d n o s o m. Pomoću transformatora možemo svaki izmjenični napon transformirati na više ili na niže, što ovisi o izboru prijenosnog odnosa.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji izvori energije dolaze u obzir za aparate s elektronkama? *Odgovor:* Baterije, mreža istosmjerne struje i mreža izmjenične struje. — *P.:* Koje prednosti pruža upotreba mreže izmjenične struje? *O.:* Izmjenični napon dade se transformirati na bilo kakvu višu ili nižu vrijednost. — *P.:* Čime se postizava transformacija izmjeničnog napona? *O.:* Mrežnim transformatorom. — *P.:* Kako je u biti građen mrežni transformator? *O.:* Na zatvorenu željeznu jezgru namotana su najmanje dva namotaja (primarni i sekundarni namotaj). — *P.:* Koji se namotaj transformatora naziva primarnim namotajem? *O.:* Namotaj koji uzima električku energiju, koji je priključen na primjer na mrežu izmjenične struje. — *P.:* Kako dolazi do EMS u sekundarnom namotaju? *O.:* Izmjenična struja koja teče kroz primarni namotaj uzrokuje promjene toka, a ove induciraju EMS u sekundarnom namotaju. — *P.:* Kolika je ova EMS? *O.:* $E_2 = 4{,}44 \cdot w_2 \cdot f \cdot F \cdot \mathfrak{B}_m \cdot 10^{-8}$ [V]. — *P.:* Što nam pokazuje prijenosni odnos transformatora? *O.:* Odnos broja zavoja, a isto tako i odnos napona na priključnicama ili elektromotornih sila u namotajima. — *P.:* Koji namotaj nazivamo namotajem višeg napona? *O.:* Namotaj u kojem na priključnicama imamo veći napon.

5. — Prema odsjeku 3. ponaša se primarni namotaj neopterećenog transformatora kao prigušnica. Napon na priključnicama U_1 i njemu protivna samoinduktivna EMS E_1 jednako su veliki ako se zanemari radni otpor namotaja i rasipanje. Struja I_1, koja teče kroz primarni namotaj (struja praznog hoda) služi samo za stvaranje magnetskog toka u željeznoj jezgri, pa predstavlja »struju magnetiziranja« $I\mu$, koja kao induktivna prazna struja zaostaje za naponom U_1 za 90^0 (vidi dio I, odsjek 70). Pri tome međutim pretpostavljamo da trajno premagnetiziranje željezne jezgre ne iziskuje nikakav potrošak energije, što u praksi nije posve ispravno (vidi odsjek 7). O p t e r e t i m o li sekundarni namotaj potrošačem, u tom će namotaju inducirana EMS E_2 tjerati kroz potrošač izmjeničnu struju I_2. Ako je potrošač čisti radni otpor R (sl. 3), bit će napon na njegovim priključnicama $U_2 = -E_2$ sa strujom I_2



Sl. 3.

u fazi (vidi dio I, odsjek 10), dok bi kod potrošača s induktivnim karakterom napon na priključnicama prethodio struji za 90^0. Primarni namotaj L_1 priključen na generator izmjenične struje G (sl. 3) djelovat će kao potrošač, dok će sekundarni namotaj L_2 djelovati kao generator koji šalje struju I_2 kroz potrošač R. Struja I_2 izvodit će međutim povratno u željeznoj jezgri dodatni izmjenični tok, a taj će prema Lenzovu pravilu djelovati protivno toku proizvedenom od struje I_1. Kod savršenog transformatora bit će dakle također obje struje I_1 i I_2 protivnog smjera, to jest između njih će postojati fazni pomak od 180^0. Zbog tog faznog pomaka slabit će struja I_2 tok u željeznoj jezgri, uslijed čega će nastati prividno smanjenje induktiviteta primarnog namotaja i protunapona $-E_1$, pa će napon na priključnicama U_1 potjerati veću struju I_1. Vrijednost struje I_1 u primarnom namotaju raste sa svoje prvotne vrijednosti struje praznog hoda tako dugo, dok ne nadoknadi oslabljenje toka uzrokovano strujom I_2, odnosno dok tok ne dovede na vrijednost koju ima u praznu hodu. Iz toga slijedi da će *izmjenične struje koje teku u primarnom i sekundarnom namotaju biti ovisne jedna o drugoj preko zajednički proizvedenog izmjeničnog toka; što se veća struja uzima iz sekundarnog namotaja, to veća će struja teći u primarni!*

6. — Broj amper-zavoja, koji je mjerodavan za veličinu izmjenične struje (»protjecanje« ili »magnetomotorna sila«) $w_1 \cdot I_1$ u primarnom namotaju jednak je broju amper-zavoja u sekundarnom namotaju $w_2 \cdot I_2$. Oba broja amper-zavoja zajedno imaju jednako djelovanje kao broj amper-zavoja $w_1 \cdot I\mu$ primarnog namotaja u praznom hodu. Kako međutim struju praznog hoda $I\mu$ možemo u većini slučajeva prema pogonskoj struji I_1 zanemariti, bit će $w_1 \cdot I_1 = w_2 \cdot I_2$ ili:

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{\ddot{u}}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

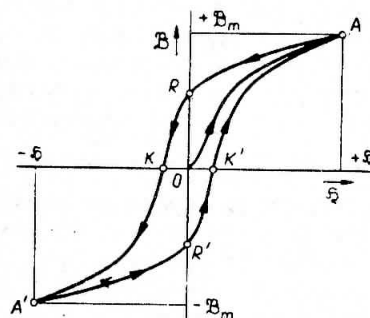
Riječima: *Struje su obrnuto proporcionalne brojevima zavoja.* Množenjem jedn. (3) s jedn. (4) dobivamo:

$$\boxed{U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Ova jednadžba slijedi uostalom i direktno iz općenitih zakona energije. Kod savršenog transformatora mora ulazna snaga $U_1 \cdot I_1$ biti jednaka snazi $U_2 \cdot I_2$, što je transformator daje na izlazu. Iako je ovaj zaključak iz općih zakona energije znatno brži, dala su nam razmatranja u odsjeku 5. znatno dublji pogled u proces koji se dešava u opterećenom transformatoru.

7. — Mjerenja pokazuju da transformator i u praznom hodu troši neku snagu. Potrošak te snage mora se svesti na stalno magnetiziranje i razmagnetiziranje željeza, kako je to već nabačeno i u odsjeku 5. Po-

gledamo li naime ovisnost magnetske indukcije $\mathfrak{B}$ u [G] o jakosti magnetskog polja $\mathfrak{H}$ u [Az/cm] za željezo, vidjet ćemo jednu čudnu i važnu pojavu. Ako oko nemagnetičnog komada željeza namotamo zavojnicu i mijenjamo jakost magnetskog polja tako, da mijenjamo jakost struje u zavojnici, onda će porastom struje rasti jakost polja $\mathfrak{H}$ od 0 do $+\mathfrak{H}$ (sl. 4.), a u isto vrijeme rast će i magnetska indukcija $\mathfrak{B}$ u željezu po »p o č e t n o j« ili »d j e v i č a n s k o j« krivulji *OA* od 0 do vrijednosti zasićenja $+\mathfrak{B}_m$. Ako sada jakost struje, a prema tome i jakost polja $\mathfrak{B}$, snizimo opet na vrijednost 0, opadat će i vrijednost magnetske indukcije $\mathfrak{B}$, ali po krivulji *AR*! Stanoviti iznos magnetske indukcije će dakle u željezu preostati, naime dio *OR*, iako je $\mathfrak{H} = 0$. Ovaj »preostali« magnetizam naziva se *remanencijom* (od lat. remanere = preostati). Ova važna pojava, koja omogućuje gradnju trajnih magneta, objašnjava se trenjem koje se protivi da se molekule željeza (ili bolje molekularne struje u željezu) vrate u prvobitno nemagnetično stanje, a to trenje treba svladati nekom protusilom. Okrenemo li smjer struje, a prema tome i smjer polja, past će $\mathfrak{B}$ na vrijednost 0 po krivulji *RK*. Jakost polja *OK*, koja je za to potrebna, naziva se *koercitivnom silom*. Ako jakost polja i dalje povećavamo u ovom smjeru do vrijednosti $-\mathfrak{H}$, rast će i $\mathfrak{B}$ u negativnom smjeru po krivulji *KA'*, dok ne postigne negativnu vrijednost zasićenja $-\mathfrak{B}_m$, koja posve odgovara pozitivnoj vrijednosti zasićenja $+\mathfrak{B}$.



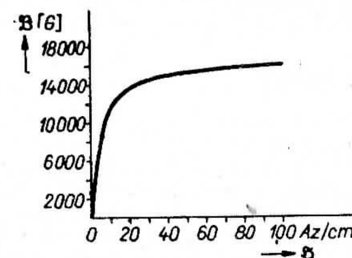
Sl. 4.

Opada li sada jakost polja sa $-\mathfrak{H}$ na vrijednost 0, smanjuje se vrijednost $-\mathfrak{B}$ po krivulji *A'R'* na vrijednost remanencije $OR' = OR$. Ako jakost polja poraste u pozitivnom smjeru do vrijednosti $+\mathfrak{H}$, rast će $-\mathfrak{B}$ po krivulji *R'K'* i postići koercitivne sile $OK' = OK$ vrijednost 0, a onda mijenjajući se po krivulji *K'A* opet vrijednost zasićenja $+\mathfrak{B}$. Isti proces ponavljat će se prilikom svakog novog magnetiziranja provedenog na isti način. Iz krivulje *ARKA'R'K'A* vidimo jasno da će magnetska indukcija $\mathfrak{B}$ trajno zaostajati za jakošću magnetskog polja $\mathfrak{H}$. Ova pojava naziva se *histerezom* (od grčkog hystereo = zaostajem), a zamkasta krivulja *krivuljom histereze.*

8. — Što je veća površina koju omeđuje krivulja histereze, to se više energije troši pri magnetiziranju željeza u izmjeničnom polju. Ova energija pretvara se (slično kao i kod trenja) u toplinu. Daljnja posljedica histereze je činjenica da *permeabilnost* μ *nema stalnu vrijednost,* nego je ovisna o vrijednostima $\mathfrak{B}$ i $\mathfrak{H}$. Zbog zakrivljenosti krivulje magnetiziranja na sl. 4. ne vrijedi naime više poznati odnos $\mathfrak{B} = \mu \cdot \mathfrak{H}$, koji bi grafički prikazan morao dati pravac. Gubici uslijed histereze dadu se upotrebom magnetski »mekših« vrsta željeza znatno sniziti, jer krivulja histereze postane tako uska da se p r a k t i č k i podudara s djevičanskom krivuljom. Tada je dovoljno da promatramo samo djevičansku krivulju (sl. 5; ovdje je zbog preglednosti krivulja magnetiziranja nacrtana nešto širom). U ovim slučajevima radi se većinom o željezu *legiranom* (2 do 4%) *sa silicijem* (»legirano željezo«) (sl. 6). Ovakvo željezo ima mnogo veću magnetsku indukciju zasićenja nego na primjer lijevano željezo, a i gubici uslijed vrtložnih struja su u ovakvim vrstama željeza mnogo manji nego u običnom željezu (vidi odsjeke 9 i 10). Ova razmatranja nisu važna samo za mrežne transformatore, nego još u većoj mjeri za niskofrekventne transformatore, o kojima ćemo govoriti kasnije. Kod niskofrekventnih transformatora radi se naime o prijenosu širokog područja frekvencija, dok se kod mrežnih transformatora radi samo s jednom frekvencijom (mrežnom frekvencijom).



Sl. 5.



Sl. 6.

Ponavljanje

Ako se na sekundarni namotaj transformatora priključi potrošač, proizvest će struja koju troši potrošač dodatni izmjenični tok u željeznoj jezgri. Taj će tok biti protivan prvotnom toku koji odgovara praznom hodu. Struje koje teku u oba namotaja imaju u slučaju savršenog transformatora međusobni fazni pomak od 180°. Što je jača struja u sekundarnom namotaju, to jača je struja i u primarnom; struje se odnose obrnuto brojevima zavoja, a ulazna snaga $U_1 \cdot I_1$ jednaka je izlaznoj snazi $U_2 \cdot I_2$. Zbog stalnog magnetiziranja i razmagnetiziranja željezne jezgre nastaju gubici energije koje uzrokuje histereza. Kod magnetiziranja zaostaje naime magnetska indukcija u željezu za jakošću polja $\mathfrak{H}$; padne li jakost polja na vrijednost nula, zadržava željezo još uvijek jedan dio magnetske indukcije (remanencija) koja se mora poljem protivnog smjera (koercitivna sila) poništiti. Gubici u željezu izazvani histerezom mogu se znatno smanjiti upotrebom naročitih vrsta željeza (željezo legirano silicijem).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvo je djelovanje izmjenične struje koja teče kroz sekundarni namotaj, kad je na njega priključen potrošač? *Odgovor:* Ta struja djeluje razmagnetizirajuće. — *P.:* Kakva je ovisnost jakosti struje u primarnom namotaju o jakosti struje u sekundarnom namotaju? *O.:* Što je jača sekundarna struja, to jača je i primarna; obje struje odnose se obrnuto brojevima zavoja. — *P.:* Zašto stvarni transformator ne radi u praznom hodu bez potroška energije? *O.:* Zato što se zbog trajnog magnetiziranja i razmagnetiziranja željezne jezgre jedan dio magnetske energije beskorisno pretvara u toplinu. — *P.:* Kako se zovu ovi gubici? *O.:* Gubici uslijed histereze. — *P.:* Što razumijevamo pod histerezom? *O.:* Činjenicu da pri magnetiziranju željeza magnetska indukcija zaostaje za jakošću

polja. — *P.*: Kod kojih vrsta željeza histereza nema veće značenje? *O.*: Kod magnetski »mekih« vrsta željeza, na primjer kod legure željeza sa silicijem. — *P.*: Iz čega se vidi da je histereza malena? *O.*: Iz dijagrama $\mathfrak{B}$—$\mathfrak{H}$; koercitivna sila je malena, a krivulja histereze uska.

Pitanja

1. Kakvo je djelovanje struje praznog hoda savršenog transformatora?
2. Kako ovisi napon na priključnicama i jakost struje transformatora o prijenosnom odnosu?
3. Kako se objašnjava razmagnetizirajuće djelovanje struje u sekundarnom namotaju opterećenog transformatora?
4. Što razumijevamo pod remanencijom i koercitivnom silom?

Zadaci

1. Mrežni transformator priključen je na mrežu izmjeničnog napona od 110 V i 50 Hz; maksimalna magnetska indukcija smije biti 10 000 G, a broj zavoja primarnog namotaja 1 000. Koliki mora biti presjek željezne jezgre?

2. Primarni namotaj mrežnog transformatora ima 880 zavoja i priključen je na mrežu izmjeničnog napona od 220 V; a) koliki mora biti broj zavoja sekundarnog namotaja, ako napon na njegovim priključnicama mora biti 4 V; b) koliki je prijenosni odnos; c) kolika je jakost struje u primarnom namotaju, ako kroz sekundarni namotaj teče struja od 2 A; d) kolika je prividna snaga transformatora?

9. — Jednadžbe transformatora koje smo dosada izveli vrijede, kako je već naglašavano, samo za transformator bez gubitaka; u praksi ćemo međutim morati računati s nešto drugačijim podacima. Radi toga ćemo se sada kratko pozabaviti i z v o r i m a g u b i t a k a kod transformatora sa željeznom jezgrom: 1. *Gubici u namotaju* nastaju uslijed toga što se energija struja I_1 i I_2, kad teku kroz radne otpore namotaja R_1 i R_2, djelomično troši na zagrijavanje namotaja. Prema Jouleovu zakonu imamo za gubitke u namotajima:

$$V_{\text{s}} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \ [\text{W}] \quad \ldots\ldots (6)$$

Odabiranjem dovoljno velikog presjeka žice moramo se pobrinuti da temperatura transformatora u trajnom pogonu ne bude veća od 50 do 70°C. 2. *Gubici uslijed vrtložnih struja* nastaju zbog toga što izmjenična struja inducira struje u bilo kojoj metalnoj masi, a ne samo u zatvorenim zavojima namotaja. Tako u željeznoj jezgri transformatora nastaju kružne struje (vidi dio I, odsjek 224. i sl. 169-a), koje nazivamo v r t l o ž n i m s t r u j a m a. Kako je radni otpor metalnih masa redovito vrlo malen, imaju inducirane vrtložne struje smjer gotovo protivan smjeru struje koja ih je uzrokovala (Lenzovo pravilo!). Uslijed toga dolazi do slabljenja polja u željeznoj jezgri. Zbog vrtložnih struja pretvara se jedan dio privedene električke energije u toplinu. Jakost vrtložnih struja može se znatno smanjiti na taj način da se željezna jezgra načini od ž e l j e z n i h l i m o v a debljine 0,2 do 0,5 mm. Kako su ravnine u kojima teku vrtložne struje okomite na smjer magnetskih silnica, moraju limovi ležati u smjeru silnica. Osim toga ne smije između pojedinih limova u jezgri postojati nikakva vodljiva veza. Zato se limovi izoliraju l a k o m ili o k s i d n i m s l o j e m. S istog razloga moraju i svi dijelovi koji služe za učvršćenje takvih jezgra biti od metala male vodljivosti. U tom pogledu naročito su povoljni limovi od već spomenutog željeza legiranog silicijem, jer ono ima prilično velik specifični otpor. Napominjemo konačno da su gubici uslijed vrtložnih struja u željezu direktno proporcionalni k v a d r a t u frekvencije izmjenične struje i k v a d r a t u magnetske indukcije, a obrnuto proporcionalni otporu željeza. 3. *Gubici* uslijed histereze (V_{h}) već su spomenuti u odsjecima 7. i 8. Oni rastu s frekvencijom izmjenične struje i dadu se sniziti upotrebom magnetski mekog željeza (uska krivulja histereze!).

10. — *Ukupni gubici u željezu:* Pod tim gubicima razumijevamo sve gubitke energije u ž e l j e z u, dakle sumu gubitaka uslijed vrtložnih struja V_{w} i gubitaka uslijed histereze V_{h}. Ukupni gubici su prema tome:

$$V = V_{\text{w}} + V_{\text{h}} \ [\text{W}] \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Uobičajeno je da se gubici za različite vrste željeza limova daju za 1 kg kod frekvencije od 50 Hz; *faktor gubitaka* v_{10} i v_{15} naznačuje se kod maksimalne magnetske indukcije od 10 000 G, odnosno 15 000 G. Podatak $v_{10} = 3$ W/kg znači da kod toga željeza moramo uz maksimalnu magnetsku indukciju od 10 000 G i frekvenciju od 50 Hz računati s gubicima od 3 W po kg. Faktor gubitaka v dade se za d r u g e maksimalne indukcije $\mathfrak{B}_{\text{m}}$ uz i s t u frekvenciju dosta tačno izračunati iz podataka za v_{10} po slijedećoj jednadžbi:

$$v = v_{10} \left(\frac{\mathfrak{B}_{\text{m}}}{10\,000} \right)^2 \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right] \quad \ldots\ldots (8)$$

Nema međutim smisla raditi sa suviše velikim vrijednostima maksimalne indukcije $\mathfrak{B}_{\text{m}}$, jer u tom slučaju dolazi do zagrijavanja jezgre i čitavog transformatora. Također i struja magnetiziranja I_μ je u tom slučaju prevelika. $\mathfrak{B}_{\text{m}}$ se većinom kreće između 9 000 G (kod najmanjih transformatora) i 14 000 G (kod najvećih transformatora). Stupanj djelovanja transformatora, dakle odnos snage koju transformator uzima iz mreže, prema snazi koju transformator daje, redovito je vrlo velik i iznosi za male mrežne transformatore 80 do 90%, dok je kod najvećih transformatora čak i 99%! Stupanj djelovanja malih transformatora za električno zvonce iznosi 40 do 80%.

11. — Sada ćemo se upoznati s jednim prilično tačnim p r a k t i č k i m p o s t u p k o m proračunavanja mrežnih transformatora. Ako je U željeni izmjenični napon u [V], f frekvencija izmjenične struje u [Hz],

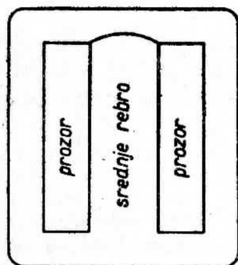
F presjek željezne jezgre u [cm²] $\mathfrak{B}_m$ maksimalna magnetska indukcija u [G] imamo iz jedn. (1) potreban broj zavoja:

$$w = \frac{U}{4{,}44 \cdot f \cdot F \cdot \mathfrak{B}_m} \cdot 10^8 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

Potreban presjek željezne jezgre dobivamo iz empiričke formule:

$$F = \frac{N}{0{,}55 \cdot F'} \;[\mathrm{cm}^2] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (10)$$

Ovdje je F' presjek prozora u koji dolazi namotaj (vidi sl. 7) u [cm²], a N ukupna snaga koju transformator uzima iz mreže u [VA]. N je jednako sumi svih snaga potrebnih za žarenje katodnih niti, svih anodnih snaga, gubitaka u ispravljaču ($\approx 1\,000 \cdot I_a^2$ kod dvotaktnog ispravljanja i $\approx 500 \cdot I_a^2$ kod jednotaktnog ispravljanja, ako je I_a ukupna struja u [A] koja teče kroz ispravljačicu), te gubitaka u željezu i namotajima ($\approx$ 9 VA kod normalnih mrežnih transformatora). Ako obzirom na zagrijavanje namotaja dopustimo da gustoća struje u bakru bude 3 A/mm², i ako q označuje presjek žice u [mm²], dobivamo potreban promjer žice iz jednadžbe:



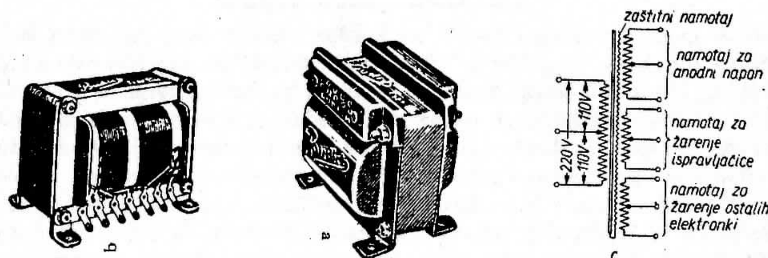
Sl. 7.

$$I = 3 \cdot q = 3 \cdot d^2 \cdot \pi/4, \text{ dakle: } d = \sqrt{4\,I/3\pi},$$

to jest:

$$d = 0{,}65 \cdot \sqrt{I}\;[\mathrm{mm}] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (11)$$

12. — Na sl. 8. vidimo konačno primjer modernog mrežnog transformatora kakav se upotrebljava u prijemnicima i pojačalima. Sl. 8.-a pokazuje n e o k l o p l j e n u izvedbu s izvodima na koje se spajanje



Sl. 8.

izvodi lemljenjem, a sl. 8.-b o k l o p l j e n u izvedbu kod koje su krajevi pojedinih namotaja izvedeni na priključnice zaštićene od dodira. Na sl. 8.-c vidimo da ovakav transformator ima na primarnoj strani odvojke

(za razne napone mreže) i tri odijeljena sekundarna namotaja s odvojcima u sredini. Prvi namotaj daje anodni izmjenični napon od 2 × 300 V uz anodnu struju od 125 mA, drugi napon za žarnu nit ispravljačice od 2×2 V uz 2 A, a treći napon od 2 × 2 V uz 6 A za žarne niti elektronki pojačala. Mnogi transformatori imaju između primarnog i sekundarnog namotaja jednoslojni »z a š t i t n i« namotaj (sl. 8.-c) ili tanku pločicu aluminijskog lima koja je j e d n o p o l n o spojena sa željeznom jezgrom. Taj zaštitni namotaj služi za električno (statičko) oklapanje sekundarnog namotaja od primarnog, da se spriječi prodiranje visokofrekventnih smetnji iz mreže u aparat.

Ponavljanje

Transformatori sa željeznom jezgrom imaju ove gubitke: 1. gubitke u namotajima koji nastaju zbog pretvaranja električke energije u toplinu u zavojima namotaja; 2. gubitke uslijed vrtložnih struja koji nastaju u metalnim masama transformatora uslijed toga, što se u njima induciraju vrtložne struje. Ovi se gubici mogu smanjiti dijeljenjem jezgre u limove; 3. gubitke uslijed histereze koji nastaju uslijed premagnetiziranja željezne jezgre. Ukupni gubici u željezu jednaki su sumi gubitaka uslijed vrtložnih struja i gubitaka uslijed histereze, koje kod pojedinih vrsta željeza karakterizira faktor gubitaka. Faktor gubitaka v_{10}, odnosno v_{15} daje gubitke u željezu pri maksimalnoj indukciji od 10 000 G, odnosno 15 000 G, za 1 kg željeza uz frekvenciju od 50 Hz. Spomenuti gubici općenito su tako maleni da je stupanj djelovanja transformatora (ukoliko transformator nije vrlo malen) vrlo velik. Proračun mrežnog transformatora može se izvršiti vrlo jednostavno pomoću približnih jednadžbi.

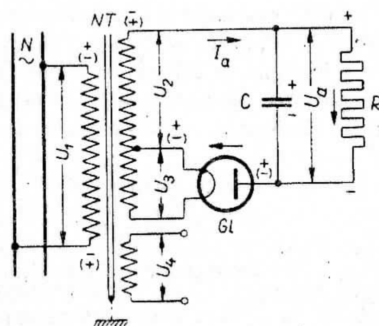
Pitanja i odgovori

Pitanje: S kojim gubicima moramo računati kod svakog transformatora sa željeznom jezgrom? *Odgovor:* S gubicima u namotaju, gubicima uslijed vrtložnih struja i gubicima uslijed histereze. — *P.:* Kako nastaju gubici u namotaju? *O.:* U radnom otporu namotaja pretvara se dio dovedene električne energije u toplinu. — *P.:* Što su gubici uslijed vrtložnih struja? *O.:* Uslijed izmjeničnog magnetskog polja u željeznoj jezgri induciraju se u metalnim masama transformatora, naročito u samoj jezgri, vrtložne struje koje također zagrijavaju željeznu jezgru. — *P.:* Kako se mogu gubici uslijed vrtložnih struja smanjiti?. *O.:* Tako da se jezgra gradi od legiranih limova međusobno dobro izoliranih. — *P.:* Kako nastaju gubici zbog histereze? *O.:* Uslijed trajnog premagnetiziranja željezne jezgre nastaje međusobno trenje molekula željeza, a posljedica toga trenja je toplina, dakle opet pretvaranje električke energije u toplinu. — *P.:* Kako se mogu smanjiti gubici uslijed histereze? *O.:* Tako da se upotrebi legirano i magnetski meko željezo s uskom krivuljom histereze. — *P.:* Što pokazuje faktor gubitaka v_{10}? *O.:* Gubitke u željezu kod maksimalne indukcije od 10 000 G i frekvencije od 50 Hz, u vatima po kilogramu željeza. — *P.:* Koliki je stupanj djelovanja mrežnog transformatora? *O.:* 80 do 90%.

Ispravljač s elektronkom

13. — Kako smo u odsjeku 1. vidjeli, potrebne i s t o s m j e r n e napone kod aparata za priključak na mrežu izmjenične struje dobivamo pomoću *ispravljača.* Razlikujemo ispravljačice s užarenom katodom i

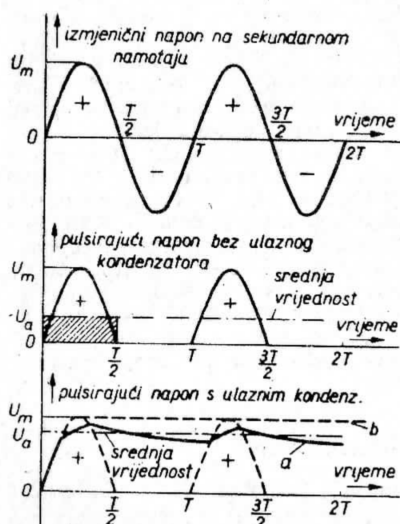
visokim vakuumom, plinom punjene ispravljačice, tinjave ispravljačice i suhe ispravljačke patrone. *Ispravljačice s visokim vakuumom* su u najjednostavnijem slučaju d i o d e (vidi dio I, odsjek 243); u tom slučaju ispravljanje je *jednotaktno*. Iz dijela I, odsjek 249. znamo da se diodom može vršiti ispravljanje izmjeničnih struja, jer se elektroni kroz nju mogu gibati samo u jednom smjeru, i to od katode k anodi. Uz pretpostavku da ispravljačica ima karakteristiku s oštrim koljenom, propuštat će samo pozitivne poluperiode izmjenične struje, a negativne će potiskivati (vidi dio I, sl. 133).



Sl. 9.

Na sl. 9. vidimo shemu ispravljača s jednotaktnim ispravljanjem. Primarni namotaj mrežnog transformatora *NT* priključen je na mrežu *N* napona U_1. Prvi sekundarni namotaj s odvojkom daje (visok) izmjenični napon U_2 i (nizak) izmjenični napon U_3. Ovaj posljednji služi za žarenje katode ispravljačice *Gl*. Drugi sekundarni namotaj daje (nizak) izmjenični napon U_4 koji služi za žarenje ostalih elektronki u aparatu za koji se ispravljač upotrebljava. Izmjenični napon U_2 treba ispraviti. Radni otpor *R* na shemi predstavlja potrošač, dakle prijemnik ili pojačalo kojemu ovaj ispravljač daje napone.

14. — Ako je gornji kraj prvog sekundarnog namotaja pozitivan (sl. 9 i 10 gore) teći će kroz otpor *R* i kroz ispravljačicu, koja je spojena s njime u seriju, promjenljiva istosmjerna struja I_a, jer je ispravljačica u ovom smjeru vodljiva. Na otporu *R* nastat će dakle za vrijeme prve poluperiode (0 do *T*/2) promjenljivi pad napona (sl. 10 u sredini). Ako je međutim za vrijeme slijedeće poluperiode (*T*/2 do *T*) gornji kraj prvog sekundarnog namotaja transformatora n e g a t i v a n, neće zbog zapornog djelovanja ispravljačice kroz otpor *R* teći n i k a k v a struja. Ista igra ponavlja se i u slijedećim periodama izmjeničnog napona U_2, pa će kroz *R* teći p u l s i r a j u ć a s t r u j a, na njegovim krajevima nastajat će **p u l s i r a j u ć i n a p o n** s maksimalnom vrijednošću U_m (sl. 10 u sredini). Kod ovih razmatranja za početak kondenzator *C*



Sl. 10.

ne uzimamo u obzir. Tok struje koja teče kroz otpor *R* odgovara tačno promjenama napona na krajevima otpora *R*. Kako se na sl. 9. vidi, anoda ispravljačice je za potrošač uvijek n e g a t i v a n pol, odnosno k a t o d a j e p o z i t i v a n pol.

15. — Voltmetar priključen paralelno otporu *R* pokazivat će srednju vrijednost pulsirajućeg napona. Ova srednja vrijednost naziva se *elektrolitskom* ili *galvanometričkom srednjom vrijednošću M (u)* i izračunava se jednadžbom:

$$\boxed{M(u) = \frac{1}{\pi} \cdot U_m = 0{,}318 \cdot U_m} \quad \text{(kod jednotaktnog ispravljanja)} \quad (12)$$

U našem slučaju označen je *M(u)* sa U_a (vidi sl. 10 u sredini). Ovu srednju vrijednost možemo dobiti i računskim putem, ako preko pozitivne poluperiode nacrtamo pravokutnik s površinom jednakom polovici površine sinusoide koja stoji nad njim (u sl. 10 u sredini, šrafirano!). Visina ovog pravokutnika odgovara traženoj srednjoj vrijednosti. Isto razmatranje vrijedi i za elektrolitsku srednju vrijednost *M (i)* pulsirajuće struje. Pulsirajući napon dade se rastaviti u konstantan i s t o s m j e r n i napon i veliki broj i z m j e n i č n i h napona raznih amplituda. Kod jednotaktnog ispravljanja sadržava pulsirajući napon u prvom redu izmjenični napon s frekvencijom mreže (o s n o v n i v a l) i parne n a d v a l o v e toga osnovnog vala, dakle kod frekvencije mreže 50 Hz osim 50 Hz još i frekvencije 100, 200, 400, itd. Hz.

16. — Ako paralelno otporu *R* ukopčamo kondenzator *C* (sl. 9.), imat će pulsirajući napon posve drugi oblik. U prvoj četvrtini periode pozitivnog poluvala nabijat će se kondenzator *C* skoro do tjemene vrijednosti U_m izmjeničnog napona U_2[1]) (sl. 10 dolje). Nakon toga izbija se kondenzator *C* preko otpora *R*, jer izbijanje u drugom smjeru nije moguće zbog zapornog djelovanja ispravljačice. Kako je odsada napon sekundarnog namotaja niži od napona na kondenzatoru, bit će napon na ispravljačici n e g a t i v a n, pa struja kroz nju neće teći. Za vrijeme izbijanja pada istosmjerni napon na kondenzatoru po eksponencijalnoj krivulji (sl. 10 dolje, krivulja *a*) određenoj kapacitivnom vremenskom konstantom $T' = R \cdot C$. Izbijanje prestaje onda, kad uslijed siljedeće pozitivne poluperiode dobivamo opet pozitivni istosmjerni napon koji je jednak momentanoj vrijednosti napona na kondenzatoru. Tada ponovno započinje nabijanje kondenzatora, a kroz ispravljačicu teče opet struja nabijanja. Ova se igra neprestano ponavlja. Dobivamo promjenljiv **istosmjerni** napon, kojemu vrijednost nikad ne pada na nulu, a mnogo je j e d n o l i č n i j i od prómjenljivog (pulsirajućeg) istosmjernog napona kod ispravljača bez kondenzatora (usporedi krivulju u sredini s donjom krivuljom na sl. 10). Osim toga je i srednja vrijednost u ovom slučaju znatno

[1]) Nabijanje kondenzatora *C* određeno je vremenskom konstantom $T = R' \cdot C$ (vidi dio I, odsjek 28). Tu je R' suma nadomjesnog otpora transformatora i unutarnjeg otpora ispravljačice. Nadomjesni otpor transformatora je jednak $(R_s + R_p/ü^2)$ ako su R_p i R_s radni otpori primarnog, odnosno sekundarnog namotaja, a *ü* prijenosni odnos mrežnog transformatora (vidi odsjek 89).

veća. Promjenljiva istosmjerna struja koja teče kroz otpor R ima isti oblik. Što je veća vremenska konstanta $T' = R \cdot C$, to polaganije se kondenzator izbija, to manje pada napon na kondenzatoru i to viša je srednja vrijednost istosmjernog napona U_a. Što je veća struja I_a, to niža će biti srednja vrijednost istosmjernog napona. Ako iz ispravljača uopće ne uzimamo struju, ili ako je otpor R vrlo velik, nabija se kondenzator C na tjemenu vrijednost $U_m = U_2 \cdot \sqrt{2}$ i tu vrijednost zadržava (sl. 10 dolje, krivulja *b*), jer do izbijanja uopće ne dolazi (niti preko R, niti preko ispravljačice). Efektivna vrijednost U_b osnovnog vala superponiranog izmjeničnog napona, *napona brujanja*, može se izračunati iz približne jednadžbe:

$$U_b = \frac{I_a}{4 f' \cdot \sqrt{2} \cdot C} \ [\mathrm{V}] \quad \ldots\ldots \quad (13)$$

Ovdje je f' frekvencija nabijanja kondenzatora u [Hz], C kapacitet kondenzatora u [F], a I_a jakost struje koju ispravljač daje u [A]; kod frekvencije mreže od 50 Hz imamo za jednotaktno ispravljanje $f' = 50$ Hz, a za dvotaktno ispravljanje $f' = 100$ Hz. Valovitost promjenljivog istosmjernog napona na sl. 10 prikazana je doduše pretjerano velikom, no ona je u stvari ipak tako velika da je moramo smanjivati posebnim filtrima (vidi odsjek 26). U protivnom je slučaju napon brujanja toliki da ozbiljno smeta radu aparata koji su priključeni na ispravljač.

Ponavljanje

Najjednostavniji ispravljač s visokovakuumskim ispravljačicama je ispravljač s jednotaktnim ispravljanjem. Kao ispravljačica upotrebljava se dioda: ona propušta struju samo u jednom smjeru. Kod jednotaktnih ispravljača propušta se dakle samo pozitivna poluperioda izmjeničnog napona koji daje mrežni transformator, a negativna se potiskuje. Uslijed toga nastaje pulsirajući napon koji kroz potrošač tjera pulsirajuću struju. Elektrolitska ili galvanometrička srednja vrijednost ovog istosmjernog napona jednaka je 0,318-kratniku tjemene vrijednosti izmjeničnog napona. Svaka pulsirajuća istosmjerna struja može se rastaviti u istosmjernu struju i niz izmjeničnih struja s frekvencijama koje odgovaraju osnovnom valu i nadvalovima. Ako paralelno potrošaču priključimo kondenzator, bit će promjene istosmjernog napona mnogo manje nego kod ispravljača bez tog kondenzatora. Što je paralelni kondenzator veći, to veća je srednja vrijednost istosmjernog napona, a to manji napon brujanja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto aparat koji uzima napone iz mreže izmjenične struje mora imati ispravljač? *Odgovor:* Zato što je za pogon elektronki potrebno imati istosmjerne napone. — *P.:* Koji je najjednostavniji ispravljač s visokovakuumskom ispravljačicom? *O.:* Ispravljač s jednotaktnim ispravljanjem. — *P.:* Kako u principu radi takav ispravljač? *O.:* Izmjenični napon, koji dobivamo preko mrežnog transformatora ispravlja se pomoću diode, koja propušta pozitivne poluperiode izmjeničnog napona, a negativne potiskuje. — *P.:* Kakav je ovako dobiven istosmjerni napon? *O.:* To je pulsirajući istosmjerni napon. — *P.:* Kolika je srednja vrijednost takvog napona, ako ispravljač nema kondenzatora? *O.:* Jednaka je srednjoj elektrolitskoj vrijednosti, dakle 0,318-kratniku maksimalne vrijednosti isto-

smjernog napona. — *P.:* Kako se mogu smanjiti pulsacije istosmjernog napona? *O.:* Tako da se paralelno potrošaču priključi kondenzator. *P.:* Kako se objašnjava takvo djelovanje kondenzatora? *O.:* U pauzama, za vrijeme kojih ispravljač ne radi, kondenzator daje potrošaču snagu, koju je akumulirao. — *P.:* Koje su daljnje prednosti u vezi s upotrebom kondenzatora? *O.:* Povećanje srednje vrijednosti istosmjernog napona. — *P.:* Što razumijevamo pod naponom brujanja? *O.:* Izmjenični napon osnovnog vala, koji je sadržan u promjenljivom istosmjernom naponu.

Pitanja

5. Koliki su ukupni gubici u željezu kod mrežnog transformatora?
6. Zašto mrežni transformatori imaju obično više sekundarnih namotaja?
7. Kako se objašnjava oznaka »jednotaktno« ispravljanje?
8. Što je pulsirajuća istosmjerna struja i od čega se sastoji?

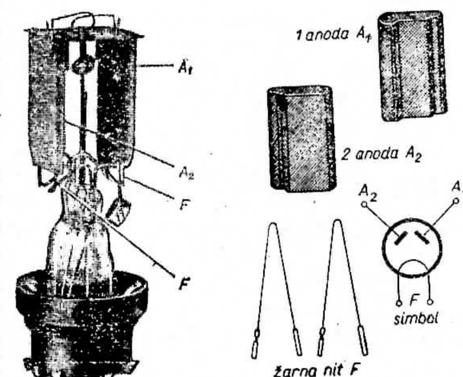
Zadaci

3. Potrebno je načiniti mrežni transformator za jednotaktan ispravljač. Transformator će se priključiti na mrežu izmjeničnog napona od 220 V, 50 Hz, a maksimalna indukcija u željezu smije biti 10 000 G. Presjek prozora u koji dolazi namotaj iznosi 10 cm². Sekundarni namotaj mora imati tri odijeljena namotaja za napon 300 V i struju 100 mA, 4 V i 1 A, te 4 V i 4 A. Koliki mora biti: a) presjek željezne jezgre, b) broj zavoja i c) promjer žice (uz gustoću struje 3 A/mm²)?

4. Gubici legiranog željeznog lima iznose kod maksimalne indukcije od 10 000 G i frekvencije 50 Hz 2,6 W/kg. Koliki su gubici kod maksimalne indukcije od 12 000 G?

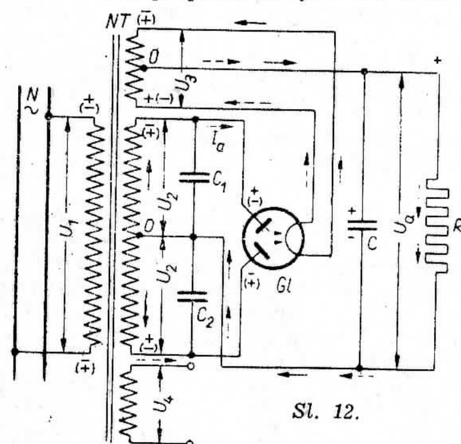
5. Ispravljač s jednotaktnim ispravljanjem daje pri frekvenciji mreže od 50 Hz anodnu struju od 45 mA. Koliki je napon brujanja, ako je potrošaču paralelno priključen kondenzator od 8 μF?

17. — Kod jednotaktnog ispravljanja iskorištavaju se samo pozitivni poluvalovi izmjeničnog napona, koje dobivamo preko transformatora. Upotrebimo li međutim dvije diode spojene tako da rade »u protuspoju«, mogu se iskoristiti oba poluvala izmjeničnog napona, pa možemo načiniti *ispravljač za dvotaktno ispravljanje*. Mjesto dviju odijeljenih dioda upotrebljava se češće elektronka, koja ima u jednom balonu dvije anode i zajedničku katodu. Na sl. 11. vidimo unutarnju građu jedne ispravljačice za dvotaktno ispravljanje i odgovarajući simbol. Tu se radi o dvjema diodama s paralelno spojenim žarnim nitima (direktno žarene katode od nikla s oksidnim slojem). Obje anode su zbog boljeg odvođenja topline mrežaste (vidi dio I, odsjek 257). Spoj ispravljača s dvotaktnim ispravljanjem vidimo na sl. 12. Za razliku od onoga prikazanog u sl. 9. ima ovdje mrežni transformator dva posve jednaka anodna namotaja. Ostale oznake imaju isto značenje kao i na sl. 9.



Sl. 11.

18. — Anodni namotaj mrežnog transformatora daje dva protufazna izmjenična napona U_2 (prema sredini namotaja 0), tako da anode ispravljačice imaju u svakom momentu napone protivnog predznaka (sl. 13 gore). U svakoj poluperiodi radi međutim samo pozitivna anoda, jer svaka dioda propušta struju samo onda kad joj je anoda pozitivna.

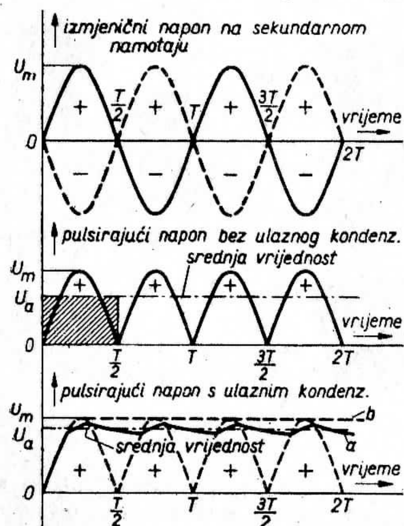


Sl. 12.

Diode koje su spojene u protuspoju mijenjaju se dakle u radu nakon svake poluperiode (pripaziti na crtkane, odnosno izvučene strelice na sl. 12!). Na taj način nalazi se na potrošaču, za razliku od slučaja kod jednotaktnog ispravljanja, u svakoj poluperiodi pulsirajući istosmjerni napon (sl. 13 u sredini). Uslijed toga je srednja *vrijednost* istosmjernog napona $U_a = M(u)$ kod ispravljača s dvotaktnim ispravljanjem (bez kondenzatora paralelnog potrošaču) dva puta veća od srednje vrijednosti kod ispravljača s jednotaktnim ispravljanjem, dakle prema jednadžbi (12):

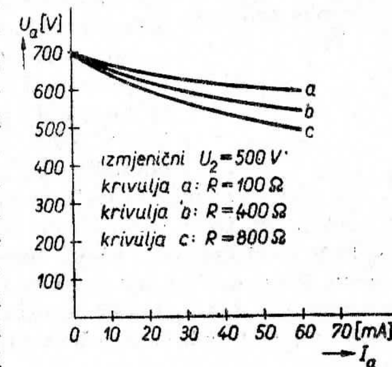
$$M(u) = \frac{2}{\pi} \cdot U_m = 0{,}637 \cdot U_m \quad \text{(kod dvotaktnog ispravljanja)} \quad . \quad (14)$$

Ova srednja vrijednost odgovara visini pravokutnika nacrtanog nad polovicom periode s površinom jednakom površini koju zatvara polovina sinusoide (na sl. 13 u sredini, šrafirano). Vidimo dalje da će pulsirajući istosmjerni napon biti u ovom slučaju mnogo jednoličniji nego kod jednotaktnog ispravljanja. Naročito treba istaknuti da kod dvotaktnog ispravljanja *nećemo* više u pulsirajućoj struji kao komponentu imati *izmjeničnu struju koja ima frekvenciju mreže,* nego će osnovna frekvencija biti jednaka *dvostrukoj* frekvenciji mreže, a osim nje imat ćemo i više parne frekvencije. Uz frekvenciju mreže od 50 Hz imali bismo dakle osnovnu frekvenciju 100 Hz, te zatim frekvencije 200, 400, 600 itd. Hz (vidi odsjek 15). U ovome je također naročita prednost dvotaktnog ispravljanja.



Sl. 13.

19. — Priključimo li paralelno potrošaču kondenzator C (sl. 12), primijenit ćemo isto povoljno djelovanje kao i kod jednotaktnog ispravljanja (vidi odsjek 16), jer će i ovdje jake pulsacije istosmjernog napona biti znatno ublažene (izglađene). Kako uspoređivanjem sl. 10. i 13. možemo ustanoviti, bit će promjenljivi istosmjerni napon kod dvotaktnog ispravljanja mnogo izglađeniji nego kod jednotaktnog. Uzrok tome nalazimo u činjenici da se kondenzator C nabija sada dva puta češće, pa se više ne može isprazniti toliko kao kod jednotaktnog ispravljanja. Srednja vrijednost istosmjernog napona U_a bit će dakle u ovom slučaju (s paralelnim kondenzatorom) nešto veća od odgovarajuće vrijednosti kod dvotaktnog ispravljanja, ali neće biti dva puta veća. Sl. 14. pokazuje na jednom primjeru ovisnost srednjeg istosmjernog napona U_a o jakosti struje I_a, što je ispravljač daje. Krivulje *a*, *b*, *c* odnose se na anodni izmjenični napon od 500 V uz različite vrijednosti nadomjesnog otpora R transformatora (vidi odsjek 16). Ako ispravljač ne daje struju ($I_a = 0, R = \infty$), nabija se kondenzator, isto kao i kod jednotaktnog ispravljanja, na tjemenu vrijednost $U_m = U_2 \cdot \sqrt{2}$ izmjeničnog napona U_2 (sl. 13 dolje, krivulja *b*). Dalje slijedi iz jedn. (13) da će napon brujanja U_b kod dvotaktnog ispravljanja biti dva puta manji od napona brujanja kod jednotaktnog ispravljanja, uz jednake vrijednosti za I_a i C. Za f' moramo naime u ovom slučaju, uz frekvenciju mreže od 50 Hz, uzeti frekvenciju 100 Hz. Sve spomenute prednosti dvotaktnog ispravljanja dolaze međutim do punog izražaja jedino onda, kad se plus-vod ispravljača priključi tačno u sredinu namotaja koji daje napon za žarnu nit ispravljačice (vidi sl. 12), a jednako je važno priključiti tačno u sredinu namotaja i minus-vod. U protivnom slučaju radi ispravljač nesimetrično, pa propušta i osnovni val s frekvencijom napona mreže. Kondenzatori C_1 i C_2 ($\approx$ 5 000 pF) nemaju s ispravljanjem nikakve veze, već oni zbog svog malenog otpora za visokofrekventne struje odvode eventualne visokofrekventne titraje, koji se mogu pojaviti u ispravljaču i smetati radu prijemnika.

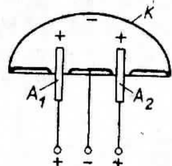


Sl. 14.

20. — Osim ispravljačica s visokim vakuumom postoje i *plinom punjene ispravljačice* s užarenom katodom. Ovakve ispravljačice u principu građene su jednako kao i ispravljačice s visokim vakuumom, samo za razliku od njih sadrže neki plemeniti plin (helij, argon ili neon) pod tlakom od nekoliko milimetara. Prilikom prolaza struje kroz takvu

ispravljačicu dolazi dakle do ionizacije uslijed sudara (vidi dio I, odsjek 236). Pri tome se djelovanje prostornog naboja poništava djelovanjem nastalih pozitivnih iona, pa je istosmjerna struja, koja teče kroz ispravljačicu jača, a unutarnji otpor i unutarnji pad napona manji (5 do 15 V). Uslijed toga je kod ovakvih ispravljačica ovisnost ispravljenog napona o struji neznatna. Plinom punjene ispravljačice naginju međutim na proizvođenje visokofrekventnih titraja, a kako ovi smetaju, potrebno je u ispravljače s takvim ispravljačicama ugrađivati sredstva za zaštitu od smetnji (prigušnice i kondenzatore). Općenito se ne preporučuje upotrebljavati plinom punjene ispravljačice u ispravljačima koji daju napone za pogon prijemnika.

21. — *Tinjave ispravljačice* također su punjene plinom (tlak 6 do 10 mm), ali za razliku od plinom punjenih ispravljačica, o kojima smo maločas govorili, nemaju užarenu katodu. Pozitivni ioni plina nastali uslijed ionizacije sudarom dolaze na katodu i iz nje izbijaju elektrone, koji dobivaju ubrzanje i gibiju se prema anodi, kad je ona pozitivna (vidi dio I, odsjek 237). Ako je površina katode velika, a površina anode što manja, može se postići da struja elektrona u protivnom smjeru (anoda-katoda), kad je katoda pozitivna, bude vrlo malena, pa nastaje ispravljačko djelovanje. Ovo djelovanje može se još pojačati ako se površina katode prevuče slojem oksida, kao i katode normalnih elektronki. Uslijed toga snizuje se istodobno i unutarnji pad napona na 50 do 80 V. Na sl. 15. vidimo shematski prikazanu građu jedne ovakve ispravljačice. Katoda K je zatvorena malena kapica u koju prodiru anode A_1 i A_2 u obliku štapića. S ovakvim ispravljačicama mogu se na primjer uz napon od 2×220 V (dvotaktno ispravljanje) dobiti struje od kojih 100 mA, a pri tome je povratna struja svega 2 do 4 mA.



Sl. 15.

Kako sve plinom punjene ispravljačice proizvode visokofrekventne smetnje, upotrebljavaju se one danas još samo za pojačala, malene odašiljače i nabijače (za akumulatore), dok se u prijemnicima ne upotrebljavaju. Prije, dok još ispravljačice s visokim vakuumom nisu bile tako usavršene kao danas, moralo se uzimati plinom punjene ispravljačice uvijek kad su bile potrebne jače struje.

Ponavljanje

Pri dvotaktnom ispravljanju iskorištavaju se oba poluvala izmjeničnog napona. Ispravljač s dvotaktnim ispravljanjem radi kao dva protufazno spojena jednotaktna ispravljača. Elektrolitska srednja vrijednost dobivenog pulsirajućeg istosmjernog napona (bez paralelnog kondenzatora) jednaka je 0,637-kratniku maksimalne vrijednosti. U pulsirajućem istosmjernom naponu nema izmjeničnog napona s frekvencijom koja je jednaka frekvenciji napona mreže, nego je osnovna frekvencija jednaka dvostrukoj frekvenciji napona mreže, a uz nju su sadržani i njezini parni nadvalovi. Paralelno priključeni kondenzator djeluje isto kao i kod jednotaktnog ispravljača, tako da istodobno podiže vrijednost pulsirajućeg istosmjernog napona i da ga izglađuje. Prednosti dvotaktnog ispravljanja su: bolje izglađeni istosmjerni napon i manji napon brujanja uslijed pomanjkanja izmjenične komponente, koja ima frekvenciju napona mreže. Ispravljačice punjene plemenitim plinom niskog tlaka imaju uslijed ionizacije sudarom manji unutarnji otpor i manji pad napona. Tinjave ispravljačice nemaju užarenu katodu, a njihovo djelovanje osniva se na ionizaciji sudarom. Sve plinom punjene ispravljačice imaju manu da proizvode visokofrekventne titraje, koji smetaju.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U čemu se razlikuje ispravljač s dvotaktnim ispravljanjem od ispravljača s jednotaktnim ispravljanjem? *Odgovor:* Ispravljač s dvotaktnim ispravljanjem iskorištava oba poluvala izmjeničnog napona koji se ispravlja. — *P.:* Kako je građena ispravljačica za dvotaktno ispravljanje? *O.:* Ona se sastoji od dviju dioda s paralelno spojenim katodama. — *P.:* Nacrtaj spoj dvotaktnog ispravljača! *O.:* Odgovor je na sl. 12. — *P.:* Kolika je srednja vrijednost istosmjernog napona dvotaktnog ispravljača bez paralelnog kondenzatora? *O.:* Jednaka je 0,637-kratniku maksimalne vrijednosti. — *P.:* Od čega je sastavljen pulsirajući istosmjerni napon u slučaju dvotaktnog ispravljanja? *O.:* Od čistog istosmjernog napona, izmjeničnog napona s frekvencijom koja je jednaka dvostrukoj frekvenciji napona mreže, i od parnih nadvalova toga izmjeničnog napona. — *P.:* Koje su prednosti dvotaktnog ispravljanja? *O.:* Ispravljač s dvotaktnim ispravljanjem daje jednoličniji istosmjerni napon odnosno manji napon brujanja nego ispravljač s jednotaktnim ispravljanjem. Osim toga kod dvotaktnog ispravljanja nema izmjenične komponente s frekvencijom napona mreže. — *P.:* Kakve smo druge ispravljačice upoznali? *O.:* Plinom punjene ispravljačice i tinjave ispravljačice. — *P.:* Zašto se ovakve ispravljačice rijetko upotrebljavaju? *O.:* Jer često uzrokuju visokofrekventne smetnje.

Suhi ispravljači

22. — Uz ispravljačice s elektronkama upotrebljavaju se često za ispravljanje izmjeničnih struja i suhi ispravljači. Njihova upotreba ograničena je međutim većinom na specijalne slučajeve (nabijači akumulatora, mjerni instrumenti, zagrijavanje žarnih niti elektronki). Suhi ispravljači rade u principu na isti način kao i kristalni detektori (vidi dio I, odsjek 183), a prednost im je u tome što im nije potrebna struja za žarenje, što zauzimaju manje mjesta i što su mnogo trajniji nego elektronka kao ispravljačica. Najčešće se upotrebljavaju ispravljači s bakrenim oksidulom i sa selenom. *Ispravljač s bakrenim oksidulom* sastoji se od bakrene ploče K (sl. 16) na kojoj se nalazi tanki »zaporni« sloj Sp bakrenog oksidula (Cu_2O). Kao protuelektroda služi čvrsto pritisnuta olovna ploča B. Ovakva ispravljačka ćelija pritisnuta je dvjema tlačnim pločama P preko dviju ploča od izolacionog materijala I pomoću izoliranog vijka. Pločice Kp su rashladne pločice koje služe za odvođenje topline i za dovođenje, odnosno odvođenje struje. Ako ovakvu ćeliju priključimo na istosmjerni napon od kojih 2 V, teći će struja u smjeru bakreni oksidul-bakar (smjer propuštanja); u protivnom smjeru (zaporni smjer) bit će struja neznatna (sl. 17). Ispravljač

s bakrenim oksidulom ima dakle izrazito ventilno djelovanje, koje se objašnjava time što se elektroni u kristaličnom zapornom sloju gibaju lakše od bakra k oksidulu, nego u protivnom smjeru. Pri tome ne dolazi ni do kakve kemijske promjene (elektrolize); temperatura suhog ispravljača ne smije međutim prijeći 60° C, jer u tom slučaju ispravljačko djelovanje počinje popuštati. Pojedina ćelija ispravljača smije se opteretiti najviše sa 3,5 V izmjeničnog napona.

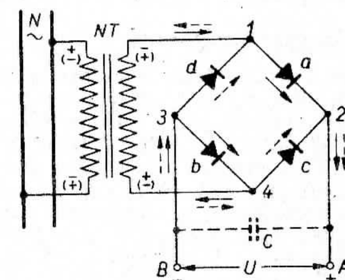
Sl. 16.

Sl. 17.

23. — *Selenov ispravljač* sastoji se od poniklovane željezne pločice prekrivene tankim slojem selena. Kao protuelektroda (i dovod za struju) služi sloj mekanog metala direktno nanesen na sloj selena. Ako je pozitivni pol istosmjernog napona na željeznoj pločici, a negativni pol na selenovom sloju, teći će kroz ispravljač struja u smjeru od ž e l j e z a k s e l e n u. Ako polove zamijenimo, bit će jakost struje vrlo malena. I ovdje dakle imamo izrazito ispravljačko djelovanje. Selenovi ispravljači građeni su uglavnom na isti način kao i ispravljač prikazan na sl. 16, a za razliku od ispravljača s bakrenim oksidulom može se kod selena priključiti napon od 20 V po ćeliji, a zagrijavanje smije ići do 80° C, dakle znatno više nego kod ispravljača s bakrenim oksidulom. Jakost struje što je pojedina ćelija može izdržati određena je površinom elektroda, pa preveliku gustoću struje (A/cm²) moramo s obzirom na zagrijavanje izbjegavati.

24. — Suhi ispravljači mogu se u principu spajati isto kao i ispravljačice. Od njih dakle možemo graditi ispravljače za jednotaktno ili za dvotaktno ispravljanje. Kako bismo mogli ispravljati više napone, spajamo više ćelija u seriju, dok paralelnim spajanjem imamo mogućnost uzimati iz ispravljača jače struje. U svakom slučaju potrebno je međutim paziti da ne prekoračimo vrijednost dopuštenu za pojedinu ćeliju. Za dvotaktno ispravljanje uzima se najčešće poznati *Graetzov spoj* (sl. 18). Simbol za ćeliju suhog ispravljača isti je kao i simbol za kristalni detektor (vidi dio I, sl. 131), a smjer propuštanja je smjer šiljak → ploča. Na tačke *1* i *4* dovodimo niski izmjenični napon iz mrežnog transformatora (bez odvojka u sredini). Ako je tačka *1* p o z i t i v n i pol sekundarnog namotaja, teći će struja kroz ćeliju ispravljača *a* od tačke *1* prema tački *2*. Struja teče dalje preko tačke *A* kroz potrošač koji je priključen na *A* i *B* (nije nacrtan), a zatim preko tačke 3 kroz ćeliju *b* prema tački *4*, i konačno k negativnom polu sekundarnog namotaja. Tačka *A* je prema tome pozitivan pol, a tačka *B* negativan pol. Za vrijeme slijedeće poluperiode izmjeničnog napona (paziti na predznake na sl. 18!) teći će struja (crtkana strelica) od tačke *4* preko ćelije *c*, tačke *2*, tačke *A*, tačke *B*, tačke *3*,

ćelije *d* prema tački *1* i drugom kraju sekundarnog namotaja. Vidimo da će potrošač, koji se nalazi između tačaka *A* i *B*, dobivati struju istog smjera kao i prije. Između tačaka *A* i *B* imamo dakle pulsirajući istosmjerni napon *U* s pozitivnim (+) polom u tački *A* i negativnim (—) polom u tački *B*. Valovitost istosmjernog napona može se znatno smanjiti ako se paralelno potrošaču priključi elektrolitski kondenzator *C* od nekoliko stotina mikrofarada. Ako se priključnice *A* i *B* predviđaju za priključak akumulatora, može spoj prikazan na sl. 18. predstavljati n a b i j a č a k u m u l a t o r a.


Sl. 18.

25. — *U Delonowu spoju* imamo samo dvije ispravljačke ćelije *a* i *b* (sl. 19). U drugim dvjema granama imamo mjesto ćelija dva kondenzatora C_1 i C_2 koji moraju biti što veći. Za vrijeme pozitivne poluperiode izmjeničnog napona teći će kroz ćeliju *a* struja nabijanja kondenzatora C_1 (puna strelica). Uslijed toga nabit će se kondenzator C_1, kako je to prikazano na sl. 19. Za vrijeme negativne poluperiode teći će struja nabijanja kondenzatora C_2 kroz ćeliju *b* (crtkana strelica), pa će se nabiti kondenzator C_2. Budući da su kondenzatori C_1 i C_2 spojeni u seriju, imat ćemo između tačaka *2* i *3*, odnosno *A* (+) i *B* (—) pulsirajući napon s vrijednošću koja je jednaka sumi napona na oba kondenzatora. Uz inače iste okolnosti daje dakle ovakav spoj d v a p u t a v e ć e n a p o n e nego Graetzov spoj. Zato kod ovog spoja govorimo o *udvostručivanju napona*. Ako se na primjer upotrebe selenove ćelije, može se serijskim spajanjem izvjesnog broja ćelija od ovakvog ispravljača dobiti napone od 300 V uz jakost struje od 0,1 A, a paralelnim spajanjem napone do 8 V uz jakost struje od 24 A.

Sl. 19.

Ponavljanje

Za ispravljanje izmjeničnih struja upotrebljavaju se često s u h i i s p r a v l j a č i. I s p r a v l j a č s b a k r e n i m o k s i d u l o m sastoji se u biti od bakrene ploče prevučene tankim slojem bakrenog oksidula i protuelektrode od olova. Ovakav ispravljač propušta struju praktički samo u smjeru od bakrenog oksidula k bakru. S e l e n o v i s p r a v l j a č sastoji se od poniklovane željezne ploče s tankim slojem selena, preko koje ga je kao protuelektroda prevučen sloj mekog metala. Selenov ispravljač propušta struju praktički samo u smjeru željezo-selen. Dopušteni napon po ćeliji ispravljača s bakrenim oksidulom je oko 3,5 V, a kod ispravljača sa selenom oko 20 V (izmjenični napon). Serijskim, odnosno

paralelnim spajanjem ćelija mogu se dobiti ispravljači za više napone, odnosno jače struje. Suhi ispravljači upotrebljavaju se najčešće u Graetzovu spoju, kao ispravljači za dvotaktno ispravljanje, dok se Delonovim spojem može izvesti udvostručivanje napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakve su prednosti suhog ispravljača? *Odgovor:* Takvom ispravljaču nije potreban napon za zagrijavanje, zauzima manji prostor i dulje traje. — *P.:* Na čemu se osniva ispravljačko djelovanje ispravljača s bakrenim oksidulom? *O.:* Ispravljač s bakrenim oksidulom propušta struju praktički samo u smjeru bakreni oksidul—bakar, a u protivnom smjeru ima vrlo velik otpor. — *P.:* Kako djeluje selenov ispravljač? *O.:* On propušta struju praktički samo u smjeru željezo—selen. — *P.:* Kakve su prednosti selenovog ispravljača pred ispravljačem s bakrenim oksidulom? *O.:* Za takav ispravljač dopušta se veći napon po ćeliji (do 20 V) i viša temperatura (do 80° C). — *P.:* Kako možemo suhe ispravljače upotrebiti za ispravljanje viših napona? *O.:* Tako da spajamo više ćelija u seriju. — *P.:* Kakav se spoj najčešće upotrebljava za suhe ispravljače? *O.:* Graetzov spoj za dvotaktno ispravljanje. — *P.:* Kakav smo još spoj upoznali? *O.:* Delonov spoj. — *P.:* Kakve su prednosti Delonova spoja? *O.:* On udvostručuje napon. — *P.:* Čime se to postizava? *O.:* Serijskim spojem dvaju kondenzatora. — *P.:* Za koje svrhe se upotrebljavaju suhi ispravljači? *O.:* Za nabijanje akumulatora, za mjerne instrumente, za zagrijavanje žarnih niti elektronki itd.

Pitanja

9. Da li ispravljač s elektronkama daje kod dvotaktnog ispravljanja viši pulsirajući napon nego kod jednotaktnog ispravljanja?

10. Kakvi su izmjenični naponi superponirani istosmjernom naponu kod jednotaktnog, a kakvi kod dvotaktnog ispravljanja, ako je frekvencija napona mreže 50 Hz?

11. Navedi zaporni smjer ispravljača s bakrenim oksidulom i selenovog ispravljača!

12. Na koji način se iz suhih ispravljača mogu dobiti jače struje?

Zadaci

6. Ispravljač za dvotaktno ispravljanje radi s izmjeničnim anodnim naponom 2 × 300 V, 50 Hz. Kolika je: a) srednja vrijednost istosmjernog napona bez paralelnog kondenzatora, b) napon brujanja superponiran istosmjernom naponu, ako ispravljač daje struju od 100 mA, a kapacitet paralelnog kondenzatora je 4 μF?

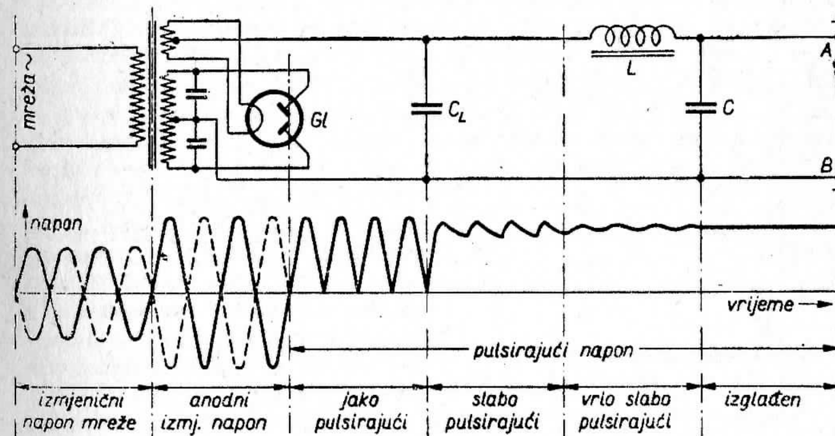
7. Koliki mora biti izmjenični napon sekundarnog namotaja mrežnog transformatora u ispravljaču za dvotaktno ispravljanje, ako srednja vrijednost istosmjernog napona bez paralelnog kondenzatora mora biti 500 V?

Filtarski spojevi

26. — Pulsirjući napon, koji dobivamo iz ispravljača s elektronkom ili suhog ispravljača, nije pogodan za direktnu upotrebu, čak ni onda, kad se potrošaču paralelno priključi kondenzator. Ovakav istosmjerni napon, kojemu je superponiran izmjenični, unosi u prijemnik jako brujanje (vidi odsjek 16). Pulsirajući napon mora se dakle još »filtrirati«, to jest osloboditi od svih čujnih (tonfrekventnih) promjena napona. Kako se brujanje u prijemniku s više elektronki znatno pojačava zajedno s onim što se prima, potrebno je da naponi za ulazne elektronke budu bolje filtrirani od

onih koji su bliže izlazu. Kao pravilo iz iskustva može se uzeti da napon brujanja u anodnom krugu izlazne elektronke za korisnu snagu od 50 mW smije iznositi najviše 5% od niskofrekventnog napona potrebnog da se ta snaga postigne. Za filtriranje se upotrebljavaju *filtarski spojevi*. Oni se sastoje od spojeva prigušnica ili radnih otpora i kondenzatora. Prigušnica spojena u vod predstavlja za izmjeničnu struju vrlo velik prazni otpor (»uzdužni otpor«), dok kondenzator koji leži paralelno izvoru struje predstavlja za izmjeničnu struju vrlo malen prazni otpor (»poprečni otpor« — vidi odsjek 33 u prvoj knjizi). Prema tome će izmjenične struje koje smetaju biti prigušnicom prigušene, a kondenzatorom kratko spojene, dok će čista istosmjerna struja kroz prigušnicu moći teći.

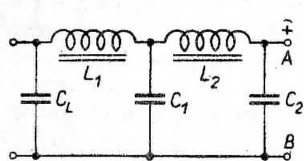
27. — Na sl. 20. vidimo ispravljač sa dvotaktnim ispravljanjem (vidi sl. 12). Ovdje je G ispravljačica za dvotaktno ispravljanje, a C_L ulazni kondenzator. Iza ovoga slijedi u seriju spojena prigušnica L (sa željeznom jezgrom) i paralelno spojeni kondenzator C. Spoj sastavljen od C_L, L i C sačinjava *jednočlani* filtarski spoj. Djelovanje čitavog spoja vidi se



Sl. 20.

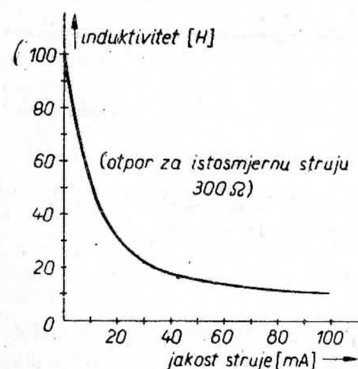
iz prikaza napona na istoj slici. Napon iz mreže transformira se preko mrežnog transformatora na višu vrijednost i ispravlja na poznat način (vidi odsjeke 17 i 18 i sl. 13), tako da nastaje istosmjerni napon s jakim pulsacijama. Ulazni kondenzator izravnava pulsacije (vidi odsjek 19), a prigušnica L pridonosi daljnjem smanjivanju promjena napona. Ovo djelovanje prigušnice osniva se na njezinom svojstvu da na svaku promjenu napona reagira protunaponima, koji te promjene slabe. Iza prigušnice L imamo opet kondenzator C, koji po djelovanju odgovara kondenzatoru C_L. Za vrijeme izbijanja kondenzatora C preko potrošača (koji nije nacrtan) priključenog na A i B dovodi se kondenzatoru C preko prigušnice L struja nabijanja iz kondenzatora C_L, tako da se kondenzator C ne može prebrzo izbijati. Uslijed ovoga promjene istosmjernog napona postaju tako malene da se istosmjerni napon može

smatrati »izglađenim«. Č i s t i istosmjerni napon ne možemo međutim na ovaj način dobiti, pa ovakav filtarski spoj kod prijemnika s više elektronki u mnogim slučajevima ne zadovoljava. Tada je nužno upotrebiti filtre sa d v a č l a n a (sl. 21). Ovakvi filtri sastoje se od dva jednočlana paralelno spojena filtra sa zajedničkim kondenzatorom C_1.



Sl. 21.

28. — Filtarsko djelovanje filtra s prigušnicom je to bolje, što je v e ć i induktivni uzdužni otpor i m a n j i kapacitivni poprečni otpor (vidi odsjek 29). Prigušnica L (vidi dio I, sl. 38) mora zbog toga imati što veći induktivitet (na desetke henrija), a kondenzator C (vidi dio I, sl. 46 i 49-a) što veći kapacitet (više mikrofarada). Kako je frekvencija napona brujanja kod dvotaktnog ispravljanja dva puta veća od frekvencije napona brujanja kod jednotaktnog ispravljanja, imamo uz iste vrijednosti L i C u prvom slučaju dva puta bolje filtarsko djelovanje, nego u drugom (prednost dvotaktnog ispravljanja!). Prilikom izbora p r i g u š n i c e mora se u prvom redu voditi računa o tome da omski otpor prigušnice ne bude prevelik, jer onda na njoj imamo veliki pad istosmjernog napona. U drugom redu treba paziti na činjenicu da je induktivitet prigušnice sa željeznom jezgrom ovisan o istosmjernoj struji, koja kroz tu prigušnicu teče. Željezna jezgra će biti to jače predmagnetizirana, što je jača istosmjerna struja koja teče kroz prigušnicu, pa će uslijed toga s porastom struje induktivitet prigušnice opadati. (Prema odsjeku 8 ovisan je permeabilitet μ željezne jezgre o magnetskoj indukciji; što se više približavamo vrijednosti zasićenja, to manji je μ, a prema tome i L). Veličina prigušnice mora odgovarati opterećenju od istosmjerne struje, već i zbog toga da ne dođe do prevelikog zagrijavanja. Tačan izbor prigušnice najbolje je učiniti na temelju karakteristika koje pojedine tvrtke daju za svoje prigušnice. Iz tih karakteristika se može vidjeti kakva je ovisnost induktiviteta o jakosti istosmjerne struje koja teče kroz prigušnicu. Jednu takvu karakteristiku vidimo na sl. 22. Iz nje izlazi da induktivitet dotične prigušnice kod struje od 10 mA iznosi oko 55 H, a kod struje od 100 mA još samo oko 10 H. Pri izboru k o n d e n z a t o r a za filtre treba paziti na to da se upotrebe kondenzatori s dovoljno visokim ispitnim naponom (oko 3 puta većim od pogonskg napona); za pogonski napon uzima se uvijek m a k s i m a l n a v r i j e d n o s t promjenljivog istosmjernog napona.



Sl. 22.

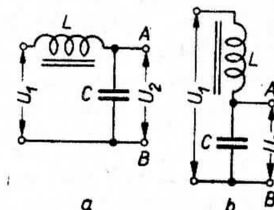
Ponavljanje

F i l t a r s k i u r e đ a j sastavljen od prigušnica ili otpora, i kondenzatora, služi za to da pulsirajuji napon iz ispravljača očisti od napona brujanja u tolikoj mjeri, da taj napon ne smeta u aparatima koji su na ispravljač priključeni. U filtarskim uređajima, koji mogu biti jednočlani ili dvočlani, potiskuje se istosmjernom naponu superponirana izmjenična komponenta pomoću prigušnice koja je spojena u seriju, i odvodi kondenzatorom koji je spojen paralelno potrošaču. Pri tome je potrebno da prigušnica ima što veći induktivitet (uz malen omski otpor), a kondenzator što veći kapacitet (uz dovoljno velik ispitni napon). U tom slučaju je uzdužni otpor velik, a poprečni malen. Što je veća vrijednost istosmjerne struje koja teče kroz prigušnicu, to manji je njezin induktivitet.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto se istosmjerni napon, koji dobivamo iz ispravljača elektronkama ili suhog ispravljača, ne može odmah upotrebiti za pogon elektronki? *Odgovor:* Zbog toga što se izmjenični napon, koji je sadržan u promjenljivom istosmjernom naponu, u aparatima pojačava i smeta. — *P.:* Kako se te smetnje dadu ukloniti? *O.:* Smanjivanjem pulsacija filtarskim uređajima. — *P.:* Na kojim osnovnim idejama počiva djelovanje filtarskih spojeva? *O.:* Naponi brujanja slabe se serijskim uzdužnim otporima (prigušnicama ili omskim otporima), i kratko spajaju paralelnim poprečnim otporima (kondenzatorima). — *P.:* Nacrtaj spojeve filtara o kojima je dosad bilo govora! *O.:* Vidi sliku 20. desno (jednočlani filtar s prigušnicom) i sliku 21. (dvočlani filtar s prigušnicom). — *P.:* Na što je potrebno paziti pri izboru prigušnica? *O.:* Prigušnice moraju imati što veći induktivitet uz malen omski otpor, a uz to veličina prigušnice mora odgovarati opterećenju od istosmjerne struje, koja kroz nju teče. — *P.:* Kakvi propisi postoje za kondenzatore u filtarskim spojevima? *O.:* Njihov kapacitet mora biti što veći, a ispitni napon jednak trostrukom maksimalnom pogonskom naponu.

29. — Filtarsko djelovanje spojeva za filtriranje može se lako izračunati. Ovakvi proračuni vrlo su važni pri projektiranju radiotehničkih uređaja i s njima se neprestano susrećemo. Radi se u prvom redu o što većem smanjenju napona brujanja. Prema tome odnos V napona brujanja i s p r e d filtarskog spoja prema naponu brujanja i z a njega mora biti što veći. Na sl. 23.-a vidimo još jednom j e d n o č l a n i filtarski spoj s prigušnicom. Da bi se bolje razumjelo filtarsko djelovanje, prikazan je ovaj isti spoj na sl. 23.-b na drugi način. Ovdje se naročito jasno vidi da je ulazni izmjenični napon (napon brujanja) U_1 prikujučen na serijski spoj prigušnice L i kondenzatora C. Izlazni izmjenični napon U_2 uzimamo s priključnica A i B, to jest s kondenzatora C. Imamo dakle d i j e l j e n j e n a p o n a. Prema Ohmovom zakonu odnosi se izmjenični napon U_1 prema izmjeničnom naponu U_2 kao prazni otpor X serijskog spoja L i C prema praznom otporu X_C kapaciteta. C. Prema dijelu I, jedn. (42)

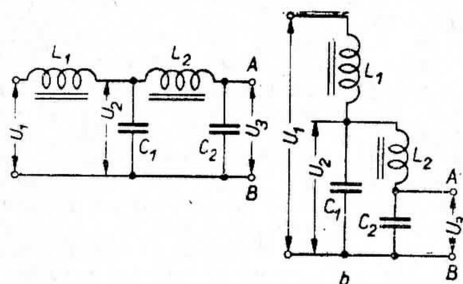


Sl. 23.

i jedn. (23) dobivamo (izostavivši radni otpor prigušnice: $V = U_1/U_2 = [\omega L - 1/(\omega C)]/[1/(\omega C)] = \omega^2 LC - 1$. Ovdje je $\omega = 2\pi f$ kružna frekvencija napona brujanja (prema odsjecima 16 i 28). U većini slučajeva je kapacitivni prazni otpor $X_C = 1/\omega C$ vrlo malen prema induktivnom praznom otporu $X_L = \omega L$ (vidi odsjek 28), tako da je u praksi $V \approx \omega L/(1/\omega C) = \omega^2 LC$, ili drugim riječima: *izmjenični naponi U_1 i U_2 odnose se praktički kao prazni otpori X_L i X_C*. Zaključno bismo mogli reći:

$$V = \frac{U_1}{U_2} = \omega^2 L C - 1 \approx \omega^2 L C \quad . . . . \quad (15)$$

30. — *U dvočlanom filtarskom spoju s prigušnicom* (sl. 24-a) imamo dvostruko dijeljenje napona. kao se to može vidjeti na sl. 24-b. Za prvo dijeljenje napona, gdje su L_1 i C_1 spojeni u seriju, vrijedi prema jedn. (15): $V_1 = U_1/U_2$. Drugo dijeljenje napona imamo na serijskom spoju L_2 i C_2, pa je: $V_2 = U_2/U_3$. Prema tome je $V_1 \cdot V_2 = (U_1/U_2) \cdot (U_2/U_3) = U_1/U_3 = V$. Ovaj odnos napona V u isto je vrijeme odnos ulaznog izmjeničnog napona U_1 prema izlaznom izmjeničnom naponu U_3 na priključnicama A i B. Primjećujemo da je taj odnos jednak produktu pojedinih filtarskih odnosa:



Sl. 24.

$$V = V_1 \cdot V_2 \quad . . . . \quad (16)$$

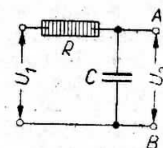
Ima li dakle prvi filtarski krug L_1—C_1 filtarski odnos $V_1 = 10$. a drugi krug L_2—C_2 odnos $V_2 = 15$. bit će ukupni filtarski odnos $V = 10 \cdot 15 = 150$! Napon brujanja od 60 V bit će dakle snižen na 60/150 = 0,4 V.

31. — Uz filtarske uređaje s prigušnicama upotrebljavaju se vrlo često i *filtri s otporima*. Na sl. 25. vidimo shemu takvog jednog *jednočlanog filtra* (bez ulaznog kondenzatora). Dosadašnja prigušnica L zamijenjena je omskim otporom R[2]), dok je poprečni kondenzator C i dalje zadržan. Ovakvi filtarski spojevi s otpornicima mogu zamijeniti

[2]) Znak koji smo upotrebili na sl. 25. i 26. za radni otpor odnosi se na sve n e m e t a l n e otpore, naročito na visokoomske ugljene otpore, koji se vrlo često upotrebljavaju. Žičani otpornici označuju se izlomljenom crtom —/\/\/\/\— , a žičani otpornici bez induktiviteta i kapaciteta vijugavom crtom ⎍⎍⎍ . Na nižim frekvencijama je radni otpor praktički jednak omskom otporu (otporu za istosmjernu struju; vidi dio I, odsjek 8).

spojeve s prigušnicama jedino onda, kad pad napona na otporu R nije prevelik. Na temelju istih razmatranja kao i kod jednočlanog filtra s prigušnicom u odsjeku 29. i sl. 23-b imamo prema dijelu I, jedn. (27):

$$V = U_1/U_2 = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}/(1/\omega C) =$$
$$= \omega C \sqrt{(R^2\omega^2C^2 + 1/(\omega^2C^2)} = \sqrt{R^2\omega^2C^2 + 1}.$$

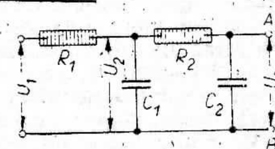


Sl. 25.

Kako je kapacitivni prazni otpor X_C redovito vrlo malen prema radnom otporu R, bit će: $V \approx \sqrt{R^2\omega^2C^2} = R\omega C = R/(1/\omega C)$, to jest i z m j e n i č n i n a p o n i U_1 i U_2 o d n o s e s e p r a k t i č k i k a o r a d n i o t p o r R p r e m a p r a z n o m o t p o r u X_C. Ukratko:

$$V = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{(\omega RC)^2 + 1} \approx \omega RC$$

Za *dvočlani filtarski spoj s otporima* (sl. 26) vrijedi isto ono razmatranje koje smo imali i kod dvočlanog filtarskog spoja s prigušnicama (vidi odsjek 30). I u ovom je slučaju u k u p n i filtarski odnos V prema jedn. (16) jednak p r o d u k t u filtarskih odnosa obaju jednočlanih krugova R_1—C_1 i R_2—C_2, jer na prvom serijskom spoju R_1—C_1 imamo prvo dijeljenje napona U_1/U_2, a na drugom R_2—C_2 drugo dijeljenje napona U_2/U_3



Sl. 26.

Ponavljanje

Filtarsko djelovanje filtarskog spoja je to bolje, što je veći f i l t a r s k i o d n o s V, dakle odnos ulaznog izmjeničnog napona U_1 prema izlaznom izmjeničnom naponu U_2. U j e d n o č l a n o m f i l t a r s k o m s p o j u odnose se izmjenični naponi U_1 i U_2 približno kao prazni otpori prigušnice i kondenzatora, pa je: $V = U_1/U_2 = \omega^2LC - 1 \approx \omega^2LC$. F i l t a r s k i s p o j s o t p o r i m a ima mjesto prigušnice radne otpore. U j e d n o č l a n o m f i l t a r s k o m s p o j u s otpornicima odnos je izmjeničnih napona U_1 i U_2 približno jednak odnosu radnog otpora prema praznom otporu kondenzatora: $V = U_1/U_2 = \sqrt{(\omega RC)^2 + 1} \approx \omega RC$. Ukupni filtarski odnos v i š e č l a n o g f i l t a r s k o g s p o j a uvijek je jednak produktu filtarskih odnosa pojedinih članova: $V = V_1 \cdot V_2$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod filtarskim odnosom filtarskog spoja? *Odgovor:* Odnos ulaznog izmjeničnog napona prema izlaznom izmjeničnom naponu. — *P.*: Koliki je praktički filtarski odnos jednočlanog filtara s prigušnicom? *O.*: On je približno jednak odnosu praznih otpora prigušnice i kondenzatora. — *P.*: Čime se razlikuje filtarski spoj s otporima od filtarskog spoja s prigušnicom? *O.*: Time da je u njemu mjesto prigušnice upotrebljen radni otpor. — *P.*: Koliki je praktički filtarski odnos jednočlanog filtra s otporima? *O.*: Približno je jednak odnosu radnog otpora i praznog otpora kondenzatora. — *P.*: Kakve mane može imati filtarski spoj s otporom? *O.*: U stanovitim prilikama može istosmjerni pad napona na radnom otporu biti vrlo velik. — *P.*: Koliki je ukupni filtarski odnos višečlanog filtarskog spoja? *O.*: Jednak je produktu filtarskih odnosa pojedinih članova.

Pitanja

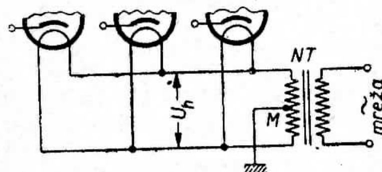
13. Kakove prednosti s obzirom na filtarsko djelovanje filtra ima dvotaktno ispravljanje pred jednotaktnim?
14. Nacrtaj spoj jednočlanog, odnosno dvočlanog filtra s otporima!
15. Koja je svrha višečlanih filtara?
16. Koliki je približno ukupni filtarski odnos dvočlanog filtarskog spoja s otporima, i to s jednakim radnim otporima i jednakim kondenzatorima?

Zadaci

8. Ispravljač s jednotaktnim ispravljanjem priključen na mrežu izmjenične struje s frekvencijom 50 Hz ima napon brujanja 20 V. Na njega je priključen jednočlani filtar s prigušnicom induktiviteta 30 H i kondenzatorom kapaciteta 16 μF. Koliki je: a) filtarski odnos, b) napon brujanja na izlazu iz filtra?
9. Dvočlani filtar s prigušnicom, s jednakim prigušnicama i jednakim kondenzatorima kapaciteta 8 μF, priključen na ispravljač sa dvotaktnim ispravljanjem mora sniziti napon brujanja ispravljača na tisući dio. Koliki mora biti induktivitet svake prigušnice, ako je ispravljač priključen na mrežu izmjenične struje, koja ima frekvenciju 50 Hz?
10. Dvočlani filtarski spoj s otporima, određen za jedno pojačalo, sastoji se od dva jednaka kondenzatora i dva radna otpora od 10 kΩ i 20 kΩ. Ulazni napon brujanja od 0,1 V (kod 100 Hz) mora se sniziti na 50 μV. Koliki mora biti kapacitet svakog kondenzatora?

Spojevi za žarenje elektronki

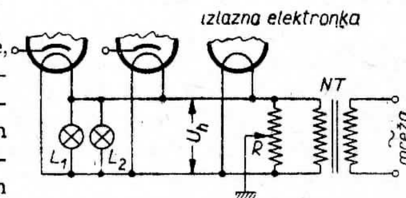
32. — I. *Žarenje izmjeničnom strujom:* Izmjeničnom strujom žare se najčešće indirektno žarene elektronke, no rjeđe i elektronke s direktnim žarenjem. Napon žarenja je tada 4 V, a jakost struje žarenja 0,65 do 2 A, što znači da dolaze u obzir u prvom redu elektronke iz A-serije (danas se dakako mnogo češće upotrebljavaju elektronke iz E-serije s naponom žarenja od 6,3 V i strujom žarenja od 0,2 do 1,4 A. Op. prev.). U p r v i m stupnjevima aparata s elektronkama upotrebljavaju se samo i n d i r e k t n o žarene elektronke, da bi se izbjeglo jako brujanje iz mreže (vidi dio I, odsjek 254). P o s l j e d n j a elektronka (izlazna elektronka) može međutim biti direktno žarena, jer se napon brujanja koji u njoj nastaje dalje ne pojačava (sl. 28). Pojedine elektronke spajaju se p a r a l e l n o i priključuju na namotaj za žarenje mrežnog transformatora *NT* (sl. 27). O tome namotaju govorili smo već u odsjecima 12. i 13. (vidi sl. 8, 9, 12). Ako transformator nema posebnog namotaja za ovu svrhu, mora se upotrebiti poseban transformator za žarenje, koji će napon mreže sniziti na odgovarajuću vrijednost napona žarenja U_h (4 V ili 6,3 V). Ostatak brujanja može se posve otkloniti ako se tačna sredina *M* namotaja za žarenje (sl. 27) uzemlji, čime se postigne simetriranje žarne niti.



Sl. 27.

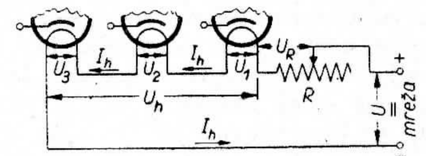
Kad se upotrebljava direktno žarena elektronka, na primjer izlazna elektronka na sl. 28, mogu se smetnje od brujanja ukloniti pomoću umjetne električke sredine žarne niti, koja se dobije potenciometrom za simetriranje *R* (e l e m i n a t o r o m b r u j a n j a). Taj potenciometar leži paralelno žarnoj niti i ima otpor od 50 do 100 Ω; njegov klizač se mora namjestiti u najpovoljniji položaj.

Budući da se pobudne rešetke, odnosno njihovi odvodni otpori, spajaju s uzemnim polom, u ovom slučaju dakle s električkom sredinom žarne niti, protufazni se naponi pojedinih polovica žarne niti u svom djelovanju na rešetke poništavaju. Male žaruljice, na sl. 28. označene sa L_1 i L_2, spojene su paralelno žarnoj niti i služe za osvjetljivanje skale prijemnika.



Sl. 28.

33. — II. *Žarenje istosmjernom strujom:* Kod žarenja elektronki iz mreže istosmjerne struje spajaju se one zbog uštede struje u s e r i j u. Iznimku čine jedino elektronke iz E-serije i F-serije (vidi dio I, odsjek 259) koje se upotrebljavaju u automobilskim prijemnicima. Moderne elektronke koje se žare istosmjernom strujom redovito su i n d i r e k t n o žarene i građene sve za istu j a k o s t s t r u j e, koja kod C-serije iznosi 200 mA, a kod B-serije 180 mA, dok je napon žarenja različit i kreće se između 13 V i 33 V. Na sl. 29. vidimo serijski spoj indirektno žarenih elektronki. Napon žarenja je zbog serijskog spajanja žarnih niti jednak sumi pojedinih napona žarenja, dakle u slučaju prikazanom na sl. 29.: $U_h = U_1 + U_2 + U_3$. Ne smije se međutim nikada spajati više od p e t žarnih niti u seriju, da razlika napona između žarnih niti i katodnog sloja ne bude veća od 100 V. Promjenljivi predotpor *R* preuzima suvišak U_R napona mreže *U*, pa je $U = U_R + U_h$ ili $U_R = U - U_h$, gdje je U_h pad napona na žarnim nitima. Ako je I_h jakost struje koja teče kroz žarne niti, bit će prema Ohmovom zakonu: $I_h \cdot R = U - U_h$ to jest:



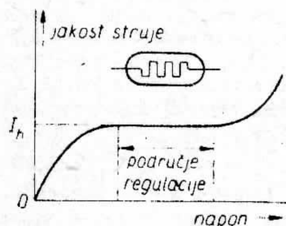
Sl. 29.

$$R = \frac{U - U_h}{I_h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Ovaj način računanja otpora *R* može međutim dati samo približne vrijednosti, jer se kod elektronki za serijsko žarenje ugađa jakost struje, a ne napon žarenja. Osim toga mora se voditi računa o činjenici da izračunana vrijednost za *R* odgovara p o g o n s k o m s t a n j u to jest za-

grijanim žarnim nitima i zagrijanom predotporu. Kako se predotpor često jako grije, njegova je vrijednost u hladnom stanju znatno niža od vrijednosti koju ima kad je zagrijan. Ugađanje predotpora na pravu vrijednost može se izvršiti tek nakon dovoljno dugog zagrijavanja i to pomoću ampermetra ukopčanog u krug žarenja. Jedino na taj način dade se jakost struje ugoditi tačno na propisanu vrijednost.

34. — Mjesto predotpora, o kakvom smo gore govorili, bolje je upotrebiti *otpornik od željeza u vodiku,* to jest otpornik koji ima svojstvo da može sam regulirati jakost struje. Otpor željezne žice raste naime s povišenjem temperature vrlo brzo. Uslijed toga nastaje na ovakvom otporniku veći pad napona, pa jakost struje u krugu žarnih niti zbog toga nije prevelika. Željezna žica nalazi se u balonu ispunjenom vodikom, koji zbog svoje dobre toplinske vodljivosti sprečava prejako zagrijavanje željezne žice. Na sl. 30. vidimo da će jakost struje u »području regulacije« biti skoro neovisna o naponu na priključnicama, pa prema tome ni eventualne promjene napona mreže neće znatnije utjecati na jakost struje koja teče kroz žarne niti. Jakost struje se međutim ipak prilikom promjene napona mijenja, makar i u maloj mjeri, jer bi inače temperatura, a prema tome i otpor željezne žice, bili uvijek jednako veliki. Ove promjene jakosti struje bit će međutim znatno manje nego kod običnog predotpora. Prilikom izbora otpornika sa željezom u vodiku potrebno je paziti na to da mu regulaciono područje odgovara jakosti struje zagrijavanja žarnih niti (na primjer 200 mA, odnosno 180 mA) i da vrijednost pada napona, to jest razlika između napona mreže i ukupnog napona na žarnim nitima, padne u sredinu regulacionog područja.



Sl. 30.

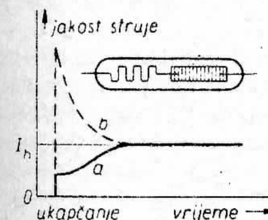
Ponavljanje

Prilikom žarenja izmjeničnom strujom spajaju se žarne niti paralelno, a napon se uzima iz namotaja mrežnog transformatora. Odvojak na sredini toga namotaja je uzemljen. Ako se upotrebljavaju direktno žarene katode, otklanjaju se smetnje iz mreže potenciometrom spojenim paralelno žarnoj niti. Klizač ovog potenciometra se uzemljuje, čime se smetnje od brujanja smanjuju na najmanju mjeru. Žarenje katoda istosmjernom strujom može biti serijsko, to jest takvo da kroz sve žarne niti teče ista struja (180 ili 200 mA), jer su žarne niti spojene u seriju. Suvišni napon poništava se u predotporu ili još bolje u otporniku od željeza u vodiku (regulacioni otpor). U području regulacije kod ovakvog otpornika jakost struje je približno neovisna o naponu na krajevima otpornika, pa ni varijacije napona mreže ne utječu znatnije na jakost struje koja teče kroz žarne niti.

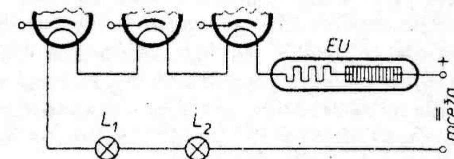
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se spajaju žarne niti elektronki u prijemniku koji se priključuje na mrežu izmjenične struje? *Odgovor:* One su priključene paralelno za zagrijevni namotaj mrežnog transformatora. — *P.:* Što je potrebno učiniti s obzirom na smetnje brujanja? *O.:* Sredinu namotaja za žarenje na transformatoru potrebno je uzemljiti, a kod direktno žarenih katoda mora se upotrebiti potenciometar kao eliminator brujanja. — *P.:* Kakav je taj potenciometar i kako se spaja? *O.:* To je potenciometar od 50 do 100 Ω, spojen paralelno namotaju za žarenje, s uzemljenim klizačem koji se namjesti tako da je brujanje najmanje. — *P.:* Kako se vrši žarenje iz mreže istosmjerne struje? *O.:* Žarne niti spajaju se u seriju, a razlika između napona mreže i napona koji je potreban žarnim nitima poništava se u predotporu. — *P.:* Kakav je predotpor najprikladniji? *O.:* Željezo u vodiku. — *P.:* Koje prednosti ima takav predotpor? *O.:* Jakost struje je uz upotrebu ovakvog predotpora u širokim granicama neovisna o promjenama napona mreže zbog svojstava željezne žice, koja se nalazi u ovakvom otporu.

35. — Kako svi metalni predotpori u hladnom stanju imaju mnogo manji otpor nego u toplom pogonskom stanju, dobivamo kod ukapčanja struje žarenja udarac struje, kojega je jakost struje znatno veća od dopuštene jakosti struje žarenja. To znači da će žarna nit biti preopterećena, a isto tako eventualne signalne žaruljice spojene u seriju sa žarnim nitima, pa se lako može desiti da pregore. Stoga je korisno u seriju s predotporom i žarnim nitima spojiti otpornike od uranovog dioksida, takozvane *urdoks-otpore.* Kako urdoks-otpori imaju u hladnom stanju vrlo velik otpor koji zagrijavanjem pada, oni se ponašaju upravo obrnuto od metalnih otpora. Zbog toga će udarac struje pri ukapčanju biti gotovo posve potisnut. U praksi se redovito urdoks-otpori ugrađuju u isti stakleni balon sa željeznim otporima. Na sl. 31. vidimo ovisnost jakosti struje o vremenu, pa nam krivulja *a* pokazuje tu ovisnost za spoj *urdoks-željezo u vodiku,* a krivulja *b* za samo željezo u vodiku. Na taj smo način došli do savršenog predotpora, pomoću kojeg se u univerzalnim aparatima i aparatima za priključak na mrežu istosmjerne struje postiže neovisnost struje žarenja o promjenama napona mreže, a uz to se žarne niti i signalne žaruljice čuvaju od udaraca struje prilikom ukapčanja. Ovakvi predotpori, kombinirani i pojedinačni, mogu se dobiti za razne napone i razne jakosti struje.



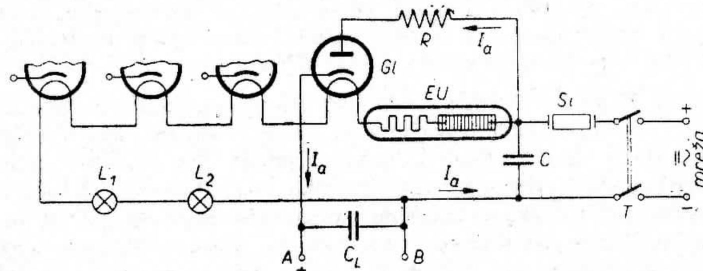
Sl. 31.



Sl. 32.

Na sl. 32. vidimo konačno indirektno žarenje elektronke u serijskom spoju s predotporom urdoks — željezo u vodiku (EU) i dvjema signalnim žaruljicama L_1 i L_2.

36. — III. *Univerzalno žarenje:* Univerzalni prijemnici koji su potisnuli prijemnike za priključak na mrežu istosmjerne struje, mogu se priključiti po želji na mrežu izmjenične ili istosmjerne struje, a za njih se upotrebljavaju elektronke C-serije sa žarnom strujom od 200 mA. No ima elektronki i s drugom strujom žarenja, kao što su elektronke iz V-serije (55 V, 0,05 A). Elektronke iz C-serije kod ovakvih prijemnika spojene su s obzirom na žarnu nit u seriju, isto kao i kod prijemnika za priključak na mrežu istosmjerne struje (sl. 33). Za predotpor upotre-



Sl. 33.

bljava se i ovdje najčešće urdoks-željezo u vodiku EU. Kako univerzalni prijemnici moraju raditi i na mrežu izmjenične struje, moraju imati i ispravljačicu *Gl*, koja daje istosmjerne napone za anode i rešetke. Ova ispravljačica (na primjer CY 1) ima žarnu nit spojenu u seriju sa žarnim nitima ostalih elektronki, a struja žarenja joj je također 200 mA. Prema odsjeku 14. bit će priključak na katodnoj strani *A* plus-pol, a priključak na anodnoj strani *B* minus-pol za krugove prijemnika priključene na *A* i *B*. Kondenzator C_L je poznati ulazni filtarski kondenzator, a maleni otpor *R* zaštićuje ispravljačicu od prejakih struja nabijanja kondenzatora u momentu ukapčanja. Veličinu ovog otpora određuje kapacitet kondenzatora i napon mreže, pa je redovito kao podatak daju tvornice elektronki. Tok anodne struje I_a vidimo također na sl. 33. Mrežni priključak ima dvopolni uklopac *T*, osigurač *Si* i paralelni kondenzator *C* od 5 000 do 10 000 pF, koji služi za kratko spajanje visokofrekventnih smetnji, koje eventualno prodru iz mreže.

37. — Ispravljačica *Gl* može ostati uključena i uz priključivanje na mrežu istosmjerne struje. U tom slučaju služi ona kao predotpor, pa je potrebno dakako paziti samo na ispravan polaritet. To štaviše daje i stanovite prednosti, jer ispravljačica zbog svog ventilnog djelovanja zaštićuje elektrolitske kondenzatore, ako se prilikom priključivanja na mrežu krivo izaberu polovi. Ako međutim želimo nepotrebno trošenje ispravljačice u ovom slučaju izbjeći, možemo ispravljačicu izvaditi, a

umjesto njezine žarne niti staviti odgovarajući otpor i u podnožju, u kome je bila ispravljačica, kratko spojiti priključak za anodu i katodu. Prebacivanje univerzalnih prijemnika na razne napone mreže (110, 125, 150, 220 ili 240 V) može se izvršiti ili izmjenom predotpora urdoks-željezo u vodiku ili pomicanjem odvojka na običnim predotporima. Da bismo i pri naponu mreže od 110 V, u slučaju priključka na mrežu izmjenične struje, mogli iz aparata dobiti istu snagu kao i pri naponu 220 V, upotrebljavamo često mjesto univerzalne ispravljačice poseban mali ispravljač s mrežnim transformatorom i ispravljačicom za dvotaktno ispravljanje (na primjer AZ 1). Dakako da je ovakav postupak pri istosmjernom naponu od 110 V nemoguć, pa u tom slučaju ne možemo iz ovakvog prijemnika dobiti punu snagu.

Ako međutim imamo u mrežnom dijelu takozvani *vibrator*, koji pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu, može se prijemnik građen za priključak na izmjeničnu struju napajati i iz mreže istosmjerne struje, i može, bez obzira na napon, dati punu snagu. Vjerojatno je da će univerzalne aparate općenito potisnuti aparati građeni za izmjeničnu struju snabdjeveni vibratorima.

38. — IV. *Baterijsko žarenje:* Kod takozvanih baterijskih elektronki spajaju se žarne niti gotovo isključivo paralelno (vidi sl. 27) i priključuju direktno na bateriju (akumulator ili suhu bateriju) koja daje struju za žarenje. U običnim baterijskim prijemnicima upotrebljavaju se u prvom redu direktno žarene elektronke iz K-serije (2 V), ali i starije 4 voltne elektronke. Automobilski prijemnici imaju indirektno žarene elektronke iz E-serije ili F-serije, dakle elektronke s naponom žarenja 6,3 V, odnosno 13 V, a struja žarenja uzima se iz akumulatorske baterije automobila. Kako se međutim F-serija sastoji samo od jedne ispravljačice, dolaze kod 13-voltne baterije u obzir ostale elektronke iz C-serije.

Ponavljanje

Udarci struje ukapčanja, koji mogu biti opasni za žarne niti i signalne žaruljice, mogu se izbjeći tako da se u seriju s predotporom spoji otpornik od uranovog dioksida (urdoks-otpornik). Urdoks-otpornik ima za razliku od metalnih otpornika u hladnom stanju mnogo veći otpor nego u toplom pogonskom stanju. Urdoks-otpornici se često ugrađuju u zajednički balon s otpornicima od željeza u vodiku. U univerzalnim prijemnicima upotrebljavaju se elektronke iz C-serije sa žarnim nitima spojenima u seriju. Kod univerzalnih aparata je žarna nit ispravljačice spojena u seriju s ostalim nitima, i ona daje istosmjerni napon u slučaju da se prijemnik priključi na mrežu izmjenične struje. Kod baterijskih prijemnika se žarne niti spajapu paralelno, a kod prijemnika za automobile upotrebljavaju se elektronke iz E-serije, F-serije, odnosno C-serije.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi urdoks-otpornik? *Odgovor:* Da otkloni udarce struje ukapčanja. — *P.:* Na čemu se osniva djelovanje urdoks-otpornika? *O.:* Na činjenici da uranov dioksid ima u hladnom stanju velik otpor koji s porastom temperature opada. Uslijed toga može on kompenzirati

suprotna svojstva metalnog predotpora. — P.: Koje su prednosti predotpora urdoks-željezo u vodiku? O.: On otklanja promjene jakosti struje žarenja kod promjena napona mreže, a isto tako i udarce struje ukapčanja. — P.: Kako se spajaju žarne niti u univerzalnim prijemnicima? O.: U seriju. — P.: Kakve se elektronke u tu svrhu upotrebljavaju? O.: Redovito elektronke iz C-serije. — P.: Zašto univerzalni prijemnici moraju imati i ispravljačicu. O.: Zbog dobivanja istosmjernog napona potrebnog za anode i rešetke u slučaju priključka na mrežu izmjenične struje. — P.: Kako se spajaju žarne niti kod baterijskih prijemnika? O.: Paralelno. — P.: Kakve se elektronke upotrebljavaju kod baterijskih, odnosno automobilskih prijemnika? O.: Kod baterijskih prijemnika redovito elektronke iz K-serije (kod starijih 4-voltne elektronke), a kod automobilskih prijemnika elektronke iz E-serije, F-serije, odnosno C-serije.

Pitanja

17. Kako se kod prijemnika za priključak na mrežu istosmjerne struje određuje ispravna jakost žarne struje?

18. Što je otpornik urdoks - željezo u vodiku?

19. Koje su prednosti univerzalnih prijemnika pred prijemnicima za priključak na mrežu istosmjerne struje?

20. Da li je snaga univerzalnih prijemnika kod napona mreže od 110 V jednaka snazi kod napona mreže od 220 V?

Zadaci

11. U prijemniku za priključak na mrežu istosmjerne struje spojene su u seriju tri elektronke iz C-serije s naponom žarenja 13 V i jedna s naponom žarenja 33 V. Koliki mora biti predotpor, ako je napon mreže 220 V?

12. Univerzalni prijemnik ima tri elektronke iz C-serije s naponom žarenja 13 V, jednu s naponom žarenja 33 V, ispravljačicu s naponom žarenja 20 V i dvije signalne žaruljice s naponom 6 V u serijskom spoju. Koliki je: a) ukupni potrebni napon, b) napon koji se mora poništiti u predotporu urdoks — željezo u vodiku, ako je napon mreže 220 V?

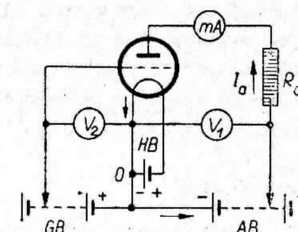
13. Za gradnju baterijskog prijemnika stoje na raspolaganju dvije elektronke iz K-serije s naponom žarenja 2 V i strujom žarenja 65 mA i jedna starija s naponom žarenja 4 V i strujom žarenja 0,15 A. Kako se moraju spojiti žarne niti ovih elektronki, ako se mora upotrebiti akumulator napona 4 V bez predotpora, i kolika je ukupna struja žarenja?

II. Niskofrekventno pojačalo

39. — Veliki polet i neslućenu savršenost radiotehnike i njoj graničnih područja treba zahvaliti u prvom redu razvoju elektronki, bez kojih bi radiotehniku danas bilo teško zamisliti. Zahvaljujući elektronki moguće je pojačati i najneznatnije izmjenične napone i učiniti ih primjetljivima, omogućeno je da milioni ljudi istodobno slušaju glazbu i govor, i da pripadnici raznih naroda udaljeni od domovine, preko kratkih valova budu povezani s domovinom. Elektronka ispravno spojena radi praktički bez tromosti i bez izobličenja amplituda ili frekvencija. Kad elektronku upotrebljavamo u pojačalima, možemo razlikovati elektronku kao pojačalo niskofrekventnih i kao pojačalo visokofrekventnih titraja.

Radna karakteristika

40. — Kako nam je poznato iz dijela I, odsjek 252, moguće je pomoću uzbudne rešetke anodnu struju mijenjati praktički bez tromosti i bez potroška energije. Prilikom naših dosadašnjih razmatranja bio je anodni krug elektronke uvijek kratko spojen, što znači da je anoda bila spojena direktno na anodnu bateriju (vidi dio I, sl. 191, 192, 205 i 206). Da bi se djelovanje elektronke kao pojačala moglo iskoristiti, potrebno je u anodnom krugu imati potrošač (na primjer zvučnik) kojim se elektronka »o p t e r e ć u j e«. Uslijed toga opterećenja nastupaju međutim znatne promjene pogonskih odnosa. Počet ćemo sa slučajem kad se u anodnom krugu nalazi *omski otpor* R_a, takozvani *anodni otpor*[3]). Na sl. 34. vidimo opet spoj sa sl. 192. iz dijela I, ali ovaj put s opterećenom triodom. Kod neopterećene elektronke vrijedi svaka I_a—U_g-karakteristika za neki određeni anodni napon (vidi dio I, sl. 194). Ako se anodna struja kod stalnog anodnog napona mijenja s naponom re-

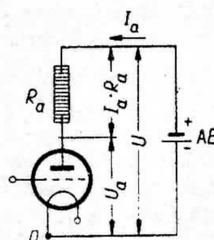


Sl. 34.

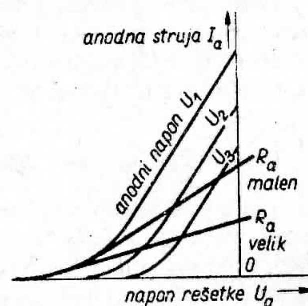
[3]) Ovdje se radi o visokoomskom otporu. Budući da kroz taj otpor, kako ćemo vidjeti, teče i izmjenična struja, morali bismo zapravo govoriti o radnom otporu (vidi dio I, odsjek 8). Isključujući međutim pojedine specijalne slučajeve možemo djelovanje skin-efekta (vidi dio I, odsjek 7) praktički zanemariti i radni otpor promatrati kao omski.

šetke, pomiče se odgovarajuća radna tačka uvijek po **i s t o j** karakteristici. U ovom slučaju govorimo o *statičkoj karakteristici* ili *karakteristici kratkog spoja* ($R_a = 0$).

41. — Imamo li međutim u anodnom krugu omski otpor R_a, neće anoda biti uvijek na punom naponu U anodne baterije AB (slika 35), jer će anodna struja I_a koja teče u anodnom krugu stvarati na anodnom otporu R_a pad napona $I_a \cdot R_a$. A n o d n i n a p o n U_a bit će dakle samo: $U_a = U - I_a \cdot R_a$. Što je veći anodni otpor R_a, to manji će biti napon na anodi U_a. Uz anodni otpor od 10 000 Ω smanjit će se na primjer anodni napon uz anodne struje od 1, 3, 5 i 10 mA za 10, 30, 50 i 100 V, pa će anodni napon kod napona baterije od 200 V biti samo 190, 170, 150, odnosno 100 V. *Anodni napon bit će dakle usprkos stalnom naponu baterije p r o m j e n l j i v i ovisan o jakosti anodne struje.* Na taj način prelazi statička karakteristika u *dinamičku* ili *radnu karakteristiku.* Kako vidimo na sl. 36, dinamičke karakteristike sijeku koso statičke karakteristike. Što je veći anodni otpor R_a, to će položenija biti dinamička karakteristika. To znači da će i *dinamička strmina* ili *radna strmina* S_a karekteristike biti manja nego dosada nam poznata *statička strmina* S kod karakteristike kratkog spoja (vidi dio I, odsjek 268). Kod neznatno malenih anodnih struja ($I_a = 0$) postaje i pad napona $I_a \cdot R_a = 0$, dakle anodni napon je jednak naponu baterije, pa početak dinamičke karakteristike pada u istu tačku s početkom statičke karakteristike uz dani napon baterije U. Dinamička karakteristika za određeni napon baterije i određeni anodni otpor može se snimiti direktno spojem, koji vidimo na sl. 34, a isto tako može se dobiti i iz statičkih karakteristika crtanjem i računom. Prvi postupak odgovara postupku u odsjecima 260. i 261. iz dijela I, dok ćemo drugi naskoro obraditi.



Sl. 35.



Sl. 36.

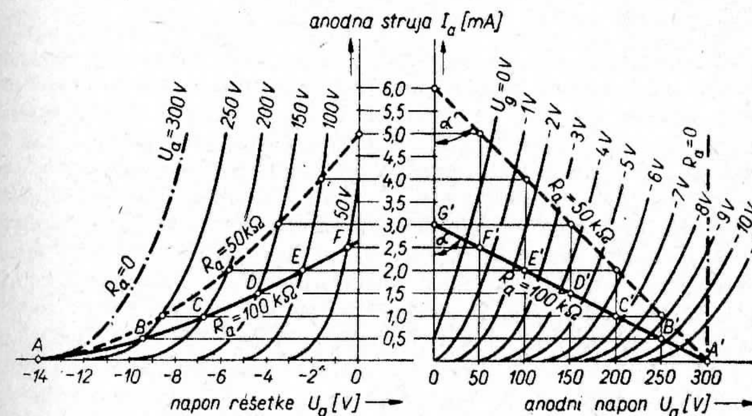
Ponavljanje

Ako je anoda elektronke priključena direktno na anodnu bateriju, ako je dakle anodni krug kratko spojen, daje nam odnos anodne struje i napona na rešetki **s t a t i č k u k a r a k t e r i s t i k u**. Anodni napon je u tom slučaju stalan za svaku pojedinu krivulju. Imamo li međutim u anodnom krugu **o m s k i o t p o r**, nećemo više na anodi imati pun napon baterije. Anodni napon će biti **u m a n j e n** za pad napona, koji nastaje uslijed anodne struje koja teče kroz radni otpor. Uslijed toga će krivulja koja pokazuje ovisnost anodne struje o naponu na rešetki, za određeni napon baterije biti položenija od statičke karakteristike. Takva krivulja naziva se **r a d n o m** ili **d i n a m i č k o m k a r a k t e r i s t i k o m**. **S t r m i n a r a d n e k a r a k t e r i s t i k e** bit će to manja, što je veći anodni otpor; statička i dinamička karakteristika u sistemu U_g—I_a imaju zajedničku početnu tačku.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koju značajnu primjenu imaju elektronke u radiotehnici? *Odgovor:* Pomoću njih se mogu i najniži izmjenični naponi vanredno pojačati. — *P.:* Što je statička karakteristika (karakteristika kratkog spoja)? *O.:* Krivulja, koja prikazuje ovisnost anodne struje o naponu na rešetki uz stanoviti anodni napon, u slučaju da je anodni krug kratko spojen. — *P.:* Što je dinamička karakteristika (radna karakteristika)? *O.:* Krivulja, koja prikazuje ovisnost anodne struje o naponu na rešetki, uz stalan napon anodne baterije, u slučaju da se u anodnom krugu nalazi anodni otpor. — *P.:* Kakav oblik imaju u principu dinamičke karakteristike? *O.:* One su manje strme od statičkih i koso ih presijecaju. — *P.:* Uslijed čega se to dešava? *O.:* Uslijed toga što je anodni napon manji od napona baterije za pad napona na anodnom otporu. — *P.:* Između kojih tačaka mjerimo anodni napon? *O.:* Između anode i katode elektronke. — *P.:* Kakav odnos postoji između strmine dinamičke karakteristike i anodnog otpora? *O.:* Strmina je to manja, što je veći anodni otpor.

42. — Dinamička karakteristike se dade lako konstruirati. Kako se potreba konstrukcije ovakve karakteristike u praktičkim proračunima pojačala uvijek ponavlja, upoznat ćemo se s njome detaljnije. Na lijevoj polovici sl. 37. vidimo statičke karakteristike jedne triode (vidi dio I, sl. 194). Preko njih ćemo ucrtati najprije dinamičku karakteristiku za omski radni otpor R_a = 100 000 Ω (100 kΩ) i za napon baterije U = 300 V. Početna tačka A ($I_a = 0$) pada u istu tačku s početnom tačkom krivulje u slučaju kratkog spoja ($R_a = 0$) za anodni napon 300 V. Kod anodne struje I_a = 0,5 mA imat ćemo na anodnom otporu R_a pad napona $I_a \cdot R_a$ =



Sl. 37.

$= 0{,}5 \cdot 100 = 50$ V, tako da će anodni napon biti još samo $U_a = U - I_a \cdot R_a = 300 - 50 = 250$ V. Povučemo li kroz tačku za 0,5 mA paralelu sa U_g-osi, sjeći će ona statičku krivulju za napon $U_a = 250$ V u tački *B*. Na taj način dobili smo drugu tačku tražene dinamičke krivulje. Na isti način dobivamo za $I_a = 1{,}0$ mA anodni napon $U_a = 300 - 1{,}0 \cdot 100 = 200$ V, čemu odgovara treća tačka *C* dinamičke krivulje kao presjecište paralele sa U_g-osi povučene kroz 1,0 mA i statičke karakteristike za $U_a = 200$ V. Isti se postupak ponavlja za $I_a = 1{,}5$ mA, 2,0 mA, 2,5 mA. Za $I_a = 2{,}5$ mA imamo $U_a = 300 - 2{,}5 \cdot 100 = 50$ V, čemu odgovara tačka *F*. Krivulja povučena kroz tačke *A* do *F* daje traženu dinamičku krivulju za $R_a = 100$ kΩ. Na sl. 37. lijevo proveden je isti postupak za anodni otpor $R_a = 50\,000$ Ω (50 kΩ), pa je crtkano nacrtana dinamička krivulja i za taj slučaj. Račun proveden za obje krivulje iznesen je u tablici. Primjećujemo da obje dinamičke krivulje idu *znatno položenije* i da su *manje zakrivljene* od statičkih, a to je vrlo važno za rad elektronke, jer uvjetuju *manje izobličenje*.

I_a	$I_a \cdot R_a$ za R_a =		U_a za R_a =	
	100 kΩ	50 kΩ	100 kΩ	50 kΩ
0 mA	0 V	0 V	300 V	300 V
0,5	50	—	250	—
1,0	100	50	200	250
1,5	150	—	150	—
2,0	200	100	100	200
2,5	250	—	50	—
3,0	300	150	0	150
4,0	—	200	—	100
5,0	—	250	—	50
6,0	—	300	—	0

43. — Budući da se radni uvjeti i način rada elektronke redovito bolje vide u krivuljama koje prikazuju ovisnost anodne struje o anodnom naponu, prikazana je na desnoj strani sl. 37. statička U_a—I_a-karakteristika za istu elektronku (vidi dio I, odsjek 262). Ovdje tačke *A'* do *F'* odgovaraju tačkama *A* do *F* dinamičke krivulje u U_g—I_a-sustavu, kako se to vidi na slici. Pojedine tačke od *A'* do *F'* nalaze se na pravcu, što znači da je *dinamička krivulja za omsko opterećenje* u U_a—I_a*-sustavu pravac!* Napon na anodi $U_a = U - I_a \cdot R_a$ postaje manji u istoj mjeri kao i anodna struja. Što je manji anodni otpor R_a, to je u ovom slučaju položenija dinamička krivulja. Ona počinje za $R_a = 100$ kΩ i $U = 300$ V u tački *A'*, a završava u tački *G'*, jer je za $I_a = 0$, $U_a = U = 300$ V, za $I_a = 3$ mA, $U_a = 300 - 3{,}0 \cdot 100 = 0$ V. Dalje vidimo iz sl. 37. desno da je kut nagiba dinamičke krivulje *A'G'* prema I_a-osi: $tg\,\alpha = OA'/OG' = 300\text{ V}/0{,}003\text{ A} = 100\,000$ V/A. Ovaj odnos napona prema jakosti struje nije međutim ništa drugo nego veličina anodnog otpora R_a u (Ω), pa općenito vrijedi:

$$\boxed{R_a = tg\,\alpha} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (19)$$

Za crtkano izvučenu krivulju za $R_a = 50$ kΩ vrijedi prema tome: $tg\,\alpha' = 300\text{ V}/0{,}006\text{ A} = 50\,000\text{ V/A} = 50$ kΩ. Konačno imamo na sl. 37.

desno još i krivulju kratkog spoja (crta-tačka) za $R_a = 0$. Ona stoji okomito na U_a-os u tački za anodni napon od 300 V, kako to odgovara naponu baterije. Iz presjecišta ove krivulje sa statičkim krivuljama za razne prednapone U_g možemo dobiti karakteristiku kratkog spoja u U_g—I_a-sustavu (vidi tačke za $U_g = -9$ V, -10 V i -11 V).

Ponavljanje

Dinamička karakteristika može se konstruirati iz statičkih U_g—I_a-karakteristika, ako je zadana veličina anodnog otpora, te napon baterje. Što je veći anodni otpor, to ćet ova krivulja biti položenija i manjet zakrivljena. Kod čistog omskog opterećenja predstavljaju dinamičke karakteristike u U_a—I_a-sustavu pravce, koji su to strmiji, što je manji anodni otpor R_a. Ako je α kut nagiba dinamičke krivulje prema I_a-osi, onda je: $R_a = tg\,\alpha$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Gdje počinje dinamička karakteritika u U_g—I_a-sustavu, uz čisto omsko opterećenje? *Odgovor:* U početnoj tački statičke karakteristike, koja vrijedi za isti napon baterije. — *P.:* Na koji se anodni otpor odnosi svaka statička karakteristika? *O.:* Na $R_a = 0$ (kratki spoj). — *P.:* Kakav je utjecaj veličine anodnog otpora na tok dinamičke karakteristike u U_g — I_a-sustavu? *O.:* Što je veći anodni otpor, to položenija je dinamička karakteristika. — *P.:* Kako izgledaju dinamičke karakteristike u U_a—I_a-sustavu u slučaju čistog omskog opterećenja? *O.:* One su pravci. — *P.:* Gdje počinju ovi pravci? *O.:* U tački na U_a-osi, koja odgovara naponu baterije. — *P.:* Kako se može odrediti nagib ovih pravaca prema I_a-osi? *O.:* Tangens kuta nagiba jednak je veličini anodnog otpora ($tg\,\alpha = R_a$). — *P.:* Kako izgleda karakteristika kratkog spoja u U_a—I_a-sustavu? *O.:* To je pravac okomit na U_a-os u tački koja odgovara naponu baterije.

Pitanja

21. Kakva je razlika između statičke i dinamičke karakteristike?
22. Na koji se način može dinamička karakteristika u U_g—I_a-sustavu približiti pravcu?
23. Koje su prednosti predočivanja dinamičke karakteristike u U_a—I_a-sustavu?

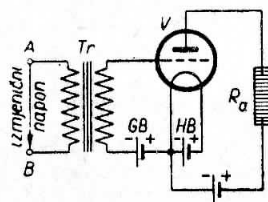
Zadaci

14. U anodnom krugu neke elektronke imamo omski otpor od 0,25 MΩ. Koliki mora biti napon baterije, ako uz anodnu struju od 0,5 mA želimo imati anodni napon 150 V?
15. U anodnom krugu triode imamo omski otpor od 10 kΩ, a napon baterije iznosi 250 V. Nacrtaj radnu karakteristiku u U_a—I_a-sustavu!

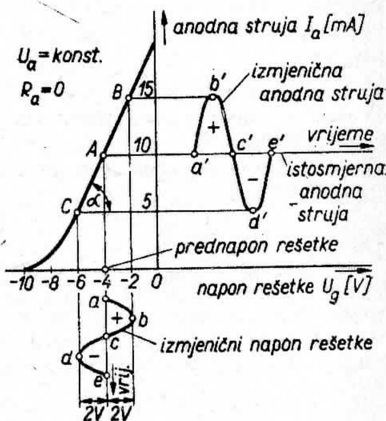
Elektronka kao pojačalo

44. — U dosadašnjem promatranju rada elektronke pretpostavljali smo uvijek da je na rešetki *istosmjerni* napon. Kako se međutim u radiotehnici radi o pojačanju *izmjeničnih* napona, moramo se sada pozabaviti slučajem kad je na rešetku doveden izmjenični napon.

Taj slučaj možemo ostvariti spojem kao na sl. 38. Na priključnicama A i B imamo niskofrekventni izmjenični napon, koji se preko transformatora Tr dovodi na rešetku triode V, koja iz baterije GB dobiva određeni *negativni prednapon* (istosmjerni napon mjeren prema negativnom kraju žarne niti!), da se spriječi nastajanje struje rešetke. Struju za žarnu nit uzimamo iz baterije HB. Veličina negativnog prednapona mjeri se prema negativnoj strani žarne niti. U anodnom krugu imamo o m s k i o t p o r R_a i anodnu bateriju AB. Za početak uzmimo da je anodni otpor R_a k r a t k o s p o j e n, da je dakle $R_a = 0$. Neka je u ovom slučaju prednapon $U_g = -4$ V. *Izmjenični napon* superponiran prednaponu neka ima amplitudu 2 V. Posljedica toga izmjeničnog napona bit će ta da će nastajati promjene anodne struje, koje se iz statičke U_g—I_a-karakteristike dadu lako odrediti. Kako na primjeru u sl. 39. vidimo, bit će a n o d n a i s t o s m j e r n a s t r u j a (s t r u j a m i r o v a n j a) kod prednapona —4 V tačno 10 mA. Tu vrijednost dobivamo, ako u tački za $U_g = -4$ V podignemo okomicu i nađemo presjecište sa statičkom karakteristikom, dakle tačku A. Iz nje povučemo paralelu sa U_g-osi do presjecišta sa I_a-osi. Ako sada napon na rešetki varira za ± 2 V, dakle između 2 V i 6 V, nastupit će odgovarajuće promjene anodne struje. Kad napon na rešetki p a d a, anodna struja će p a d a t i, a s p o r a s t o m napona na rešetki struja će r a s t i. Iz tačaka a, b, c, d, e, koje odgovaraju izmjeničnom naponu na rešetki, dobivamo tačke a', b', c', d', e' za anodnu struju, koja se mijenja između vrijednosti 15 mA i 5 mA. Primjećujemo da izmjenični napon na rešetki superponiran prednaponu uzrokuje *izmjeničnu anodnu struju* (s tjemenom vrijednošću od 5 mA) superponiranu istosmjernoj anodnoj struji. Uz pretpostavku da je dio karakteristike BC p r a v a c, da dekle *radna tačka* A leži u sredini zmeđu B i C, dobivamo djelovanjem s i n u s o i d n o g izmjeničnog napona na rešetki s i n u s o i d n u izmjeničnu anodnu struju, što znači da se proces vrši bez izobličenja.



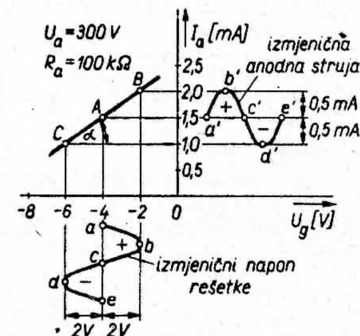
Sl. 38.



Sl. 39.

45. — Imamo li međutim u anodnom krugu o m s k i o t p o r R_a, moramo za osnovicu našeg razmatranja uzeti položeniju, dinamičku karakteristiku, kako je to na sl. 40. učinjeno u U_g—I_a-sistemu. Promjene anodne struje bit će tada usprkos jednakom naponu na rešetki

znatno manje nego kad je $R_a = 0$, pa iznose sada na primjer samo ± 0,5 mA prema ± 5 mA, kako je bilo prije. Anodna struja mijenja se sada između vrijednosti 2 mA i 1 mA. Kako smo već u odsjeku 41. vidjeli, bit će anodni napon U_a kod opterećene elektronke ovisan o jakosti anodne struje I_a, pa je $U_a = U - I_a \cdot R_a$, ako je U napon baterije. Kako kod prednapona $U_g = -4$ V prema sl. 40. imamo istosmjernu anodnu struju $I_a = 1{,}5$ mA, bit će anodni napon u s t a n j u m i r o v a n j a kod $U = 300$ V i $R_a = 100$ kΩ: $U_a = 300 - 1{,}5 \cdot 100 = 150$ V. Izmjenična struja, koja teče u anodnom krugu, stvarat će na anodnom otporu *izmjenični pad napona* s tjemenom vrijednošću 0,5 mA · 100 kΩ = 50 V. Uslijed toga nastat će i odgovarajuće promjene napona na anodi, pa će on biti to manji, što veći bude pad napona na otporu R_a. Kako se napon na omskom otporu mijenja za ± 50 V, mijenjat će se i anodni napon između vrijednosti (150 — 50) = 100 V i (150 + 50) = 200 V, dakle također za ± 50 V. Na anodi imamo dakle osim i s t o s m j e r n o g napona od 150 V također superponirani *izmjenični napon* s amplitudom od 50 V. *Izmjenični anodni napon je jednako velik kao i izmjenični napon na omskom otporu, samo je protivnog smjera.* Ako je dinamička karakteristika BC p r a v a c, bit će i izmjenični anodni napon sinusoidan, kad je sinusoidan napon na rešetki. Ni u ovom slučaju nećemo dakle imati izobličenja. Radna tačka A giba se po pravcu između tačaka B i C.



Sl. 40.

46. — Kako je u našem slučaju amplituda izmjeničnog napona na rešetki bila 2 V, a amplituda anodnog izmjeničnog napona 50 V, to je izmjenični napon rešetke *pojačan* 50 : 2 = 25 puta. Još nešto k tome: ovo pojačanje je izvršeno *a da nije utrošena energija u krugu rešetke*, što znači da je *elektronka djelovala kao relej, koji radi bez tromosti i bez potroška energije* (vidi dio I, odsjek 252). To međutim vrijedi jedino u onom slučaju, kad u krugu rešetke n e t e č e s t r u j a. Struju rešetke izbjegli smo u našem slučaju tako da smo rešetki dali odgovarajući negativni prednapon, a amplitude izmjeničnog napona uzeli smo dosta malene. Naročito je važno da primijetimo da je i z m j e n i č n a snaga utrošena u otporu R_a dobivena iz baterije, dakle iz izvora i s t o s m j e r n e struje. Na rešetku smo dovodili samo izmjenični n a p o n, a nismo trošili nikakvu izmjeničnu s n a g u.

Ponavljanje

Da spriječimo struju rešetke, moramo rešetki elektronke dati negativan p r e d n a p o n. Ako se ovome prednaponu superponira i z m j e n i č n i n a p o n, nastat će odgovarajuće promjene anodne struje; u

anodnom krugu elektronke teče tada izmjenična anodna struja superponirana istosmjernoj anodnoj struji. Ova izmjenična struja zbog omskog otpora koji se nalazi u anodnom krugu stvara na anodi elektronke izmjenični napon. Ovaj izmjenični anodni napon veći je od izmjeničnog napona dovedenog na rešetku. Elektronka djeluje kao pojačalo bez ikakve tromosti. Ako se sinusoidan izmjenični napon na rešetki mijenja po linearnom dijelu radne karakteristike, bit će i anodna izmjenična struja i izmjenični anodni napon također sinusoidni.

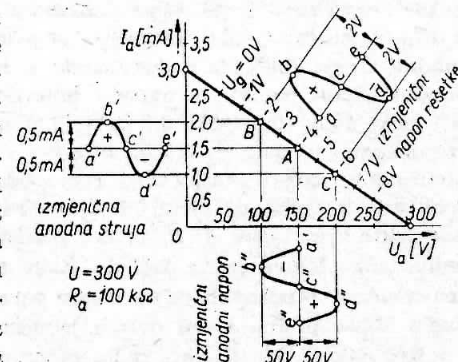
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koju svrhu ima negativni prednapon na rešetki elektronke u pojačalima? *Odgovor:* Kad je taj prednapon dovoljno velik (prema katodi), struja rešetke praktički ne teče. — *P.:* Kako djeluje sinusoidni izmjenični napon na rešetki elektronke? *O.:* On uzrokuje promjene anodne struje, dakle stvara izmjeničnu struju. — *P.:* Da li je i anodna izmjenična struja također sinusoidna? *O.:* Jest, ali samo u slučaju kad se radna tačka nalazi na ravnom dijelu karakteristike. — *P.:* Na koji se način mogu izmjenični naponi dovedeni na rešetku elektronke pojačati? *O.:* Tako da se u anodni krug uključi omski otpor. — *P.:* Od čega se u tom slučaju sastoji anodni napon? *O.:* Od napona mirovanja i njemu superponiranog izmjeničnog anodnog napona. — *P.:* Koje naročite prednosti ima pojačavanje izmjeničnih napona elektronkama? *O.:* Pojačanje se vrši bez tromosti i bez utroška energije u krugu rešetke. — *P.:* Nije li ovo u proturječju sa zakonom o energiji? *O.:* Nije, jer se izmjenična snaga dobivena u anodnom krugu uzima iz anodne baterije.

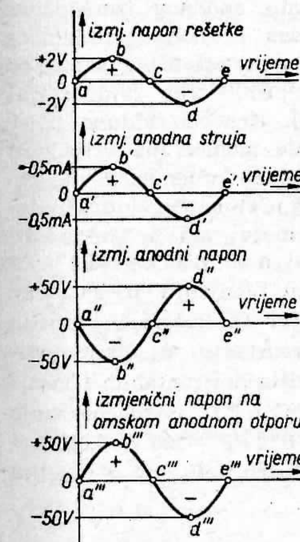
47. — Promjene anodne struje i anodnog napona izazvane promjenama napona na rešetki kod opterećene elektronke dadu se prikazati i u U_a—I_a-sustavu. Na sl. 41. vidimo primjer koji je prikazan već na sl. 40, ali ovaj put u U_a—I_a-sustavu (usporedi odsjek 43 i sl. 37). Radi bolje preglednosti ispuštene su statičke karakteristike, a nacrtana su samo njihova presjecišta s radnom karakteristikom, za koju je uzeto da je pravac.[4] Postavimo li u radnoj tački A ($U_g = -4$ V) okomicu na radnu karakteristiku, tada je ta okomica os oko koje se mijenja izmjenični napon na rešetki. Taj izmjenični napon (krivulja *abcde*) mijenja se između drugih dviju okomica postavljenih u tački B (kod $U_g = -2$ V) i C ($U_g = -6$ V) na radnu karakteristiku. Krivulja $a'b'c'd'e'$, koja pokazuje promjene anodne struje, mijenja se u području između dviju paralela s osi U_a, koje prolaze kroz tačke B i C. Paralela s istom osi povučena kroz tačku A je os oko koje se mijenja ta izmjenična struja. Na sl. 41. vidimo da su amplitude izmjenične struje $\pm$ 0,5 mA. Izmjenični napon, koji je posljedica tih izmjeničnih struja, predočen je krivuljom $a''b''c''d''e''$, a mijenja se unutar područja omeđenog paralelama s I_a-osi povučenima kroz tačke B i C, pri čemu paralela povučena kroz tačku A služi kao os. Dalje na sl. 41. vidimo da amplitude izmjeničnog napona iznose $\pm$ 50 V, što se slaže s odsjekom 45. Iz ovoga što je dosad rečeno vidi se prednost prikazivanja u U_a—I_a-sustavu pred onim u U_g—I_a-sustavu, jer i promjene napona na rešetki i promjene napona na anodi, te promjene anodne struje, možemo na istoj slici promatrati istodobno.

[4]) U ovom smo slučaju pretpostavili da imamo savršenu elektronku u kojoj su statičke krivulje ekvidistantne, pa su prema tome i njihova presjecišta s radnom karakteristikom međusobno jednako udaljena, čega u stvarnosti nemamo.

48. — Iz izvoda u odsjeku 45. i iz sl. 41. slijedi dalje da je anodni napon U_a najmanji kad napon na rešetki ima svoju najveću vrijednost. Kad naime izmjenični napon na rešetki prolazi kroz svoju tjemenu vrijednost $+2$ V (tačka b), poprima izmjenični anodni napon svoju najnižu vrijednost —50 V (tačka b''), što znači da *uz ravnu radnu karakteristiku između anodnog izmjeničnog napona i izmjeničnog napona na rešetki postoji fazni pomak od 180°!* Drugim riječima: izmjenični anodni napon djeluje protiv izmjeničnog napona na rešetki i smanjuje uzbudno djelovanje izmjeničnog napona na rešetki. Ova pojava naziva se *povratnim djelovanjem anode*, a poznata nam je već iz odsjeka 273, dio I. Dalje iz sl. 41. vidimo da izmjenična anodna struja poprima svoju maksimalnu vrijednost od $+$ 0,5 mA (tačka b'), u isto vrijeme kad izmjenični napon na rešetki prolazi kroz svoju pozitivnu tjemenu vrijednost $+$ 2 V (tačka b). To znači da je *uz ravnu radnu karakteristiku anodna izmjenična struja u fazi s izmjeničnim naponom na rešetki i da ima fazni pomak od 180° prema izmjeničnom anodnom naponu!* Na sl. 42. iznesene su ove činjenice još jedanput, i to u skladu sa sl. 41.



Sl. 41.



Sl. 42.

49. — Ako u anodnom krugu elektronke nemamo omski otpor, nego otpor s karakterom *induktiviteta* ili *kapaciteta* (vidi dio I, odsjeke 17 i 35), onda se radna karakteristika u U_a—I_a-sustavu i u U_g—I_a-sustavu pretvara u *elipsu*, jer između izmjeničnog napona na anodnom otporu i anodne izmjenične struje dolazi do dodatnog faznog pomaka. Objasnit ćemo to na jednom primjeru: Neka se u anodnom krugu nalazi prigušnica s induktivitetom L, a bez radnog otpora, dakle induktivni otpor ωL i neka je taj $\omega L = 20\,000\ \Omega$. Napon anodne baterije neka je 200 V, struja mirovanja 15 mA, a amplituda

izmjenične anodne struje 5 mA (sl. 43). Kad je momentana vrijednost anodne izmjenične struje 0 (tačka a'), tada je protunapon u induktivitetu maksimalan i to $-0{,}005 \cdot 20\,000 = -100$ V (vidi dio I, odsjek 14 i jedn. 17). Sada će anodni napon biti samo $(200-100) = 100$ V (tačka a''), pa tako dobivamo tačku A radne karakteristike u U_a—I_a-sustavu. Za tjemenu vrijednost od + 5 mA izmjenične anodne struje (tačka b') protunapon u induktivitetu jednak je nuli, a anodni napon jednak je naponu baterije, to jest 200 V (tačka b''). Na taj način dobivamo tačku B. U tački c' anodne izmjenične struje bit će protunapon jednak $+\ 0{,}005 \cdot 20\,000 = +100$ V, pa je anodni napon $(200 + 100) = 300$ V (tačka c''). Tome odgovara tačka C. Na isti način dobivamo iz tačke d' tačku d'' i D. Tražena radna karakteristika prolazi dakle kroz tačke A, B, C, D i predstavlja elipsu po kojoj se giblje radna tačka tokom jedne periode. Kako smo pretpostavili da prigušnica nema radnog otpora, bit će osi elipse paralelne sa I_a-osi, odnosno U_a-osi. Nagib elipse prema I_a-osi ovisan je uostalom o veličini radnog otpora i o frekvenciji. Što je veći radni otpor, to je elipsa uža. Dodatni fazni pomak između anodne izmjenične struje i anodnog izmjeničnog napona na induktivnom anodnom otporu iznosi u našem primjeru + 90° (vidi dio I, odsjek 15), pa zbog toga između anodnog izmjeničnog napona i anodne izmjenične struje postoji fazni pomak od $(180° + 90°) = 270°$ (vidi sl. 41 i 43). Konačno vidimo iz sl. 43, da momentana vrijednost anodnog izmjeničnog napona (zbog protunapona induktiviteta) može biti i veća od napona baterije! Za približan račun možemo međutim radnu elipsu zamijeniti pravcem. Za anodni otpor uzimamo u tom slučaju otpor za izmjeničnu struju što ga predstavlja induktivitet. Pravac koji predstavlja taj otpor dobivamo spajanjem tačaka P i P', koje su presjecišta horizontalnih i vertikalnih tangenti PA i PB na elipsu, odnosno $P'C$ i $P'D$. Pokus pokazuje da je nagib ovoga pravca prema I_a-osi jednak $P'P'' : PP'' = 200\ \text{V} : 0{,}010\ \text{A} = 20\,000\ \Omega$, dakle da je jednak izmjeničnom otporu koji smo u početku pretpostavili.

Sl. 43.

Ponavljanje

Prikazivanje radne karakteristike u U_a—I_a-sustavu daje nam mogućnost da na istoj slici prikažemo izmjenični napon na rešetki, anodni izmjenični napon i anodnu izmjeničnu struju. Ako je radna karakteristika pravac, postoji između anodne izmjenične struje i anodnog izmjeničnog napona fazni pomak od 180°, a izmjenični napon na rešetki u fazi je s anodnom izmjeničnom strujom. Iz toga dakle slijedi da anodni izmjenični napon slabi djelovanje izmjeničnog napona na rešetki (povratno djelovanje anode!). Ako u anodnom krugu imamo otpor s pretežno induktivnim ili kapacitivnim karakterom, onda je radna karakteristika elipsa.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja je prednost predočivanja u U_a—I_a-sustavu? *Odgovor:* U tom sistemu možemo na istoj slici prikazati izmjenične napone na rešetki, anodni izmjenični napon i anodnu izmjeničnu struju. — *P.*: Koji fazni odnosi postoje između tih triju veličina, kad se u anodnom krugu nalazi omski otpor? *O.*: Izmjenični napon na rešetki u fazi je s anodnom izmjeničnom strujom, a pomaknut u fazi za 180° prema izmjeničnom anodnom naponu. — *P.*: Kako se objašnjava povratno djelovanje anode? *O.*: Budući da je anodni napon prema izmjeničnom naponu rešetke pomaknut za 180°, to će on djelovati protiv ovoga napona i smanjivati uzbudno djelovanje rešetke na anodnu struju. — *P.*: Koji oblik ima radna karakteristika, ako se u anodnom krugu nalazi otpor s pretežno induktivnim ili kapacitivnim karakterom? *O.*: Oblik elipse. — *P.*: Koji je tome razlog? *O.*: Uslijed induktiviteta, odnosno kapaciteta, u anodnom krugu nastaje dodatni fazni pomak između izmjeničnog napona na anodnom otporu i anodne izmjenične struje.

Pitanja

24. Kako dolazi do izmjeničnog anodnog napona?
25. Zašto se povratnim djelovanjem anode ne ukloni posve uzbudno djelovanje izmjeničnog napona na rešetki?
26. Koliki je fazni pomak između anodnog izmjeničnog napona i anodne izmjenične struje kod čistog induktivnog, odnosno čistog kapacitivnog otpora u anodnom krugu?

Zadaci

16. U anodnom krugu triode imamo omski otpor od 0,2 MΩ. Napon baterije je 300 V, a anodna struja mirovanja 0,8 mA. Koliki je: a) anodni napon mirovanja, b) amplituda anodnog izmjeničnog napona kod amplitude anodne izmjenične struje od 0,4 mA?
17. Izlazna trioda opterećena je čistim induktivnim otporom od 2 500 Ω. Napon baterije je 250 V, a anodna struja mirovanja 60 mA. Koliki je: a) anodni napon mirovanja, b) amplituda anodne izmjenične struje, ako je amplituda anodnog izmjeničnog napona 125 V, c) maksimalna vrijednost anodne struje?

Izračunavanje pojačanja struje i napona

50. — U posljednjim poglavljima upoznali smo u grafičkom prikazu na nekoliko primjera izmjenične pojave koje se dešavaju u elektronki kad ona radi kao pojačalo. Sada ćemo te iste probleme istražiti računski. Kako se tu radi o vrlo važnim činjenicama koje će se kasnije pri proračunavanju gotovo svih spojeva ponavljati, moramo se s onim što sada slijedi vrlo dobro upoznati. Za razliku od dosadašnjih računa pojavljivat će nam se u računima, na koje sada prelazimo, istodobno s izmje-

ničnim veličinama (na prmjer anodna izmjenična struja, anodni izmjenični napon, izmjenični napon na rešetki) i istosmjerne veličine (na primjer prednapon rešetke, anodna istosmjerna struja). Radi toga ćemo za označivanje uvesti novu vrsu slova. Sve *izmjenične veličine* označivat ćemo u principu *gotskim*, a sve *istosmjerne veličine latinskim* slovima. *Mala slova* označivat će *momentane* vrijednosti, a velika *tjemene* vrijednosti! Da olakšamo snalaženje navodimo ovdje oznake koje će se upotrebljavati, i njihovo značenje:

$\mathfrak{u}$, odnosno $\mathfrak{i}$ = momentana vrijednost izmjeničnog napona, odnosno izmjenične struje,

$\mathfrak{U}$, odnosno $\mathfrak{J}$ = tjemena vrijednost izmjeničnog napona, odnosno izmjenične struje,

$\mathfrak{U}_{ef}$, odnosno $\mathfrak{J}_{ef}$ = efektivna vrijednost izmjeničnog napona, odnosno izmjenične struje,

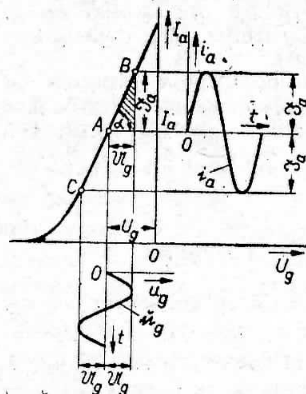
u, odnosno i = momentana vrijednost ukupnog napona, odnosno ukupne struje (kod superpozicije izmjenične i istosmjerne struje, odnosno napona),

U, odnosno I = vrijednost istosmjernog napona, odnosno istosmjerne struje,

$\mathfrak{R}$ = vrijednost otpora za izmjeničnu struju,

R = vrijednost otpora za istosmjernu struju (radnog otpora ili omskog otpora).

Ako na primjer istosmjernom anodnom naponu U_a superponiramo sinusoidni izmjenični anodni napon s amplitudom $\mathfrak{U}_a$, bit će momentana vrijednost ukupnog napona: $u_a = U_a + \mathfrak{u}_a = U_a + \mathfrak{U}_a \cdot \sin \omega t$.



Sl. 44.

51. — Ako je anodni krug elektronke *kratko spojen*, ako je dakle $\mathfrak{R}_a = 0$, onda će istosmjernom prednaponu rešetke U_g superponirani sinusoidni izmjenični napon $\mathfrak{u}_g = \mathfrak{U}_g \cdot \sin \omega t$ proizvesti sinusoidnu anodnu izmjeničnu struju $\mathfrak{i}_a = \mathfrak{J}_a \cdot \sin \omega t$ superponiranu istosmjernoj anodnoj struji (struji mirovanja I_a — sl. 44). Momentana vrijednost *ukupnog* napona rešetke bit će $u_g = U_g + \mathfrak{u}_g = U_g + \mathfrak{U}_g \cdot \sin \omega t$, a momentana jakost ukupne anodne struje: $i_a = I_a + \mathfrak{i}_a = I_a + \mathfrak{J}_a \cdot \sin \omega t$. Prema odsjeku 268. iz dijela I, bit će promjene jakosti anodne struje to veće, što su veće promjene napona rešetke i strmina $S = tg\,\alpha$-karakteristike. Postavimo li u jedn. (90) iz dijela I naše nove oznake, dakle $\Delta I_a = \mathfrak{J}_a$, a $\Delta U_g = \mathfrak{u}_g$,

dobivamo (vidi sl. 44): $S = tg\,\alpha = \mathfrak{J}_a/\mathfrak{U}_g$. Ovaj odnos nazovimo *strujnim pojačanjem* V_i:

$$V_i = \frac{\mathfrak{J}_a}{\mathfrak{U}_g} = S \quad (\text{za } \mathfrak{R}_a = 0) \quad \ldots\ldots \quad (20)$$

Odavle slijedi:

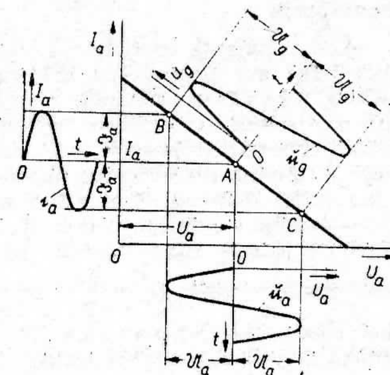
$$\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_g \quad (\text{za } \mathfrak{R}_a = 0) \quad \ldots\ldots \quad (21)$$

Za momentane vrijednosti vrijedi prema tome: $\mathfrak{i}_a = S \cdot \mathfrak{u}_g$.

52. — Imamo li međutim u anodnom krugu bilo kakav otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_a$, tada će uslijed izmjenične anodne struje $\mathfrak{J}_a$ na tome otporu doći do *izmjeničnog pada napona* $\mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$. Kako ovaj izmjenični napon *djeluje protiv anodnog izmjeničnog napona* $\mathfrak{U}_a$ elektronke (vidi odsjek 45 i sl. 42) bit će: $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$. Predznak minus upozorava nas na činjenicu da će anodni napon *opadati* s porastom anodne struje. Odnos između izmjeničnih napona i struja, odnosno istosmjernih napona i struja kod opterećene elektronke prikazan je uz novi način označivanja na sl. 45. (usporedi i sl. 41). Za uzbuđivanje anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$ mjerodavan je uz izmjenični napon rešetke $\mathfrak{U}_g$ također i dio izmjeničnog anodnog napona $\mathfrak{U}_a$. Ukupni *uzbudni napon* bit će prema odgovarajućim izvodima u odsjeku 264. i jedn. (87) iz dijela I: $\mathfrak{u}_{st} = \mathfrak{u}_g + D \cdot \mathfrak{u}_a$, jer spomenuti izvodi ne vrijede samo za istosmjerne napone, nego i za *momentane vrijednosti*. Iz toga dalje imamo: $\mathfrak{U}_{st} \cdot \sin \omega t = \mathfrak{U}_g \cdot \sin \omega t + D \cdot \mathfrak{U}_a \cdot \sin \omega t$, ili:

$$\mathfrak{U}_{st} = \mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

Ovdje je D prohvat (vidi dio I, jedn. 89), a izraz $D \cdot \mathfrak{U}_a = -D \cdot \mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$ predstavlja računski izraz za već spomenuto *povratno djelovanje anode* (vidi odsjeke 48 i 53). Iz jedn. (21) imamo sada: $\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_{st}$. Ovdje je S strmina, kao i u jedn. (20) i (21), i to strmina karakteristike *kratkog spoja* u radnoj tački A. Stavimo li ovdje vrijednost iz jedn. (22), tada imamo: $\mathfrak{J}_a = S(\mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a) = S \cdot \mathfrak{U}_g + S \cdot D \cdot \mathfrak{U}_a = S \cdot \mathfrak{U}_g - S \cdot D \cdot \mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$. Odavle je: $\mathfrak{J}_a\,(1 + S \cdot D \cdot \mathfrak{R}_a) = S \cdot \mathfrak{U}_g$. Prema dijelu I (jedn. 92) je $S \cdot D = 1/R_i$, to jest obrnuta vrijednost



Sl. 45.

unutarnjeg otpora. Dalje iz ovoga slijedi: $\mathfrak{J}_a(1 + \mathfrak{R}/R_i) = S \cdot \mathfrak{U}_g$, ili:

$$\mathfrak{J}_a = \frac{S \cdot \mathfrak{U}_g}{1 + \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i}} \qquad (23)$$

Kako je međutim $S = 1/D \cdot R_i$, bit će $\mathfrak{J}_a = \frac{\mathfrak{U}_g}{D \cdot R_i(1 + \mathfrak{R}_a/R_i)}$ ili:

$$\mathfrak{J}_a = \frac{\mathfrak{U}_g}{D} \cdot \frac{1}{R_i + \mathfrak{R}_a} \qquad (24)$$

Uz $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$ dobivamo iz jedn. (24) za anodni izmjenični napon:

$$\mathfrak{U}_a = -\frac{\mathfrak{U}_g}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i + \mathfrak{R}_a} \qquad (25)$$

Izraz $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g$ = (anodni izmjenični napon : izmjenični napon rešetke) nazivamo *naponskim pojačanjem* (vidi odsjek 46). Pustimo li iz vida fazne odnose, dakle predznak minus u jedn. (25), jer se kod naponskog pojačanja radi samo o odnosu dvaju izmjeničnih napona, dobivamo iz jedn. (25) temeljnu jednadžbu:

$$V_u = \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{U}_g} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i + \mathfrak{R}_a} = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{\mathfrak{R}_a}} \qquad (26)$$

U svim jednadžbama moramo za R_i uvrstiti uvijek *aktivni unutarnji* otpor, koji je kako znamo ovisan o radnoj tački (vidi dio I, odsjek 269)!

Ponavljanje

Kod računanja istodobno s istosmjernim i izmjeničnim veličinama označujemo sve istosmjerne veličine latinskim, a sve izmjenične veličine gotskim slovima. Momentane vrijednosti označujemo malim, a tjemene vrijednosti velikim slovima. Strujno pojačanje V_i neopterećene elektronke ($\mathfrak{R}_a = 0$) jednako je odnosu anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$ prema izmjeničnom naponu rešetke $\mathfrak{U}_g$, dakle $V_i = \mathfrak{J}_a/\mathfrak{U}_g = S$ (S = statička strmina). Imamo li u anodnom krugu izmjenični otpor $\mathfrak{R}_a$, bit će anodni zmjenični napon $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$, a ukupni uzbudni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{st} = \mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a$ (D = prohvat). Za anodnu izmjeničnu struju vrijedi: $\mathfrak{J}_a = \frac{\mathfrak{U}_g}{D} \cdot \frac{1}{(R_i + \mathfrak{R}_a)}$ ako je R_i aktivni unutarnji otpor elektronke. Naponsko pojačanje V_u opterećene elektronke jednako je odnosu anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$ prema izmjeničnom naponu rešetke U_g, pa je: $V_u = \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{U}_g} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{(R_i + \mathfrak{R}_a)}$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se pri računanju istodobno s istosmjernim i izmjeničnim veličinama ove veličine međusobno razlikuju? *Odgovor:* Istosmjerne veličine označujemo latinskim, a izmjenične gotskim slovima. — *P.:* Kako se pri tome vidi razlika između momentanih i tjemenih vrijednosti? *O.:* Momentane vrijednost označuju se malim, a tjemene velikim slovima. — *P.:* Što razumijevamo pod strujnim pojačanjem elektronke? *O.:* Odnos izmjenične anodne struje prema izmjeničnom naponu rešetke kod neopterećene elektronke. — *P.:* Kako se iz izmjeničnog napona rešetke neopterećene elektronke može izračunati izmjenična anodna struja? *O.:* Iz jednadžbe $\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_g$. — *P.:* Koliki je uzbudni izmjenični napon neopterećene elektronke? *O.:* Jednak je: $\mathfrak{U}_{st} = \mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a$. — *P.:* Što predstavlja izraz $D \cdot \mathfrak{U}_a$? *O.:* Povratno djelovanje anode. — *P.:* Što razumijevamo pod naponskim pojačanjem? *O.:* Odnos izmjeničnog anodnog napona prema izmjeničnom naponu rešetke. — *P.:* Kako se može naponsko pojačanje izračunati? *O.:* Iz jednadžbe:

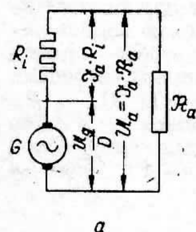
$$V_u = \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{U}_g} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{(R_i + \mathfrak{R}_a)}$$

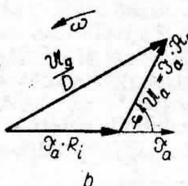
53. — U jedn. (24), (25) i (26) nalazimo izraz $(R_i + \mathfrak{R}_a)$. Kako se ovdje radi o sumi otpora za istosmjernu i otpora za izmjeničnu struju, ne smijemo zbrajanje (zbog faznih pomaka) izvršiti algebarski, nego *geometrijski*, to jest pomoću vektora (vidi dio I, odsjeke 21 i 23). Za $(R_i + \mathfrak{R}_a)$ moramo uvijek u tim jednadžbama uvrstiti apsolutnu vrijednost $|(R_i + \mathfrak{R}_a)|$ (vidi dio I, odsjek 79). Tako na primjer za slučaj da u anodnom krugu imamo prigušnicu bez radnog otpora s induktivitetom L, vrijedi: $R_i + \mathfrak{R}_a = \sqrt{R_i^2 + (\omega L)^2}$. Ako je anodni otpor omski otpor R_a, onda se može načiniti obična algebarska suma, pa je prema tome $R_i + \mathfrak{R}_a = R_i + R_a$. Samo u tom slučaju možemo dakle geometrijsko zbrajanje zamijeniti algebarskim. Isto vrijedi uostalom i za jedn. (22). Kako su ovdje $\mathfrak{U}_g$ i $\mathfrak{U}_a$ prema odsjeku 48. pomaknuti u fazi za 180°, moraju se $\mathfrak{U}_g$ i $D \cdot \mathfrak{U}_a$ odbiti algebarski.

54. — Sad ćemo jednadžbe iz odsjeka 51. i 52. kontrolirati na numeričkim primjerima. U primjeru iz odsjeka 44. je $\mathfrak{U}_g = 2$ V, a $\mathfrak{R}_a = R_a = 0$. Iz sl. 39. dobivamo za strminu karakteristike kratkog spoja: $S = tg\,\alpha = 10$ mA/4 V = 2,5 mA/V. Iz toga slijedi prema jedn. (21), a u suglasnosti s rezultatima u odsjeku 44. za izmjeničnu anodnu struju: $\mathfrak{J}_a = 2{,}5 \cdot 2 = 5$ mA (tjemena vrijednost). Za primjer u sl. 40, odnosno 41. i odsjeku 45, odnosno 47. vrijedi: $\mathfrak{U}_g = 2$ V, $D = 3{,}6\% = 0{,}036$, $R_i = 12\,500\,\Omega$, $\mathfrak{R}_a = R_a = 100\,000\,\Omega$, $R_i + \mathfrak{R}_a = R_i + R_a = 112\,500\,\Omega$. S tim vrijednostima imamo prema jednadžbi (24): $\mathfrak{J}_a = 2 \cdot 1/0{,}036 \cdot 112\,500 \approx 0{,}005$ A = 0,5 mA, a prema jedn. (25) (ne uzimajući u obzir predznak): $\mathfrak{U}_a = 2 \cdot 100\,000/0{,}036 \cdot 112\,500 \approx 50$ V, a isto tako prema jedn. (26): $V_u = 50/2 = 25$. Ovi rezultati se posvema slažu s onima koje smo dobili prije.

55. — Napišemo li jedn. (24) u obliku: $\mathfrak{U}_g/D = \mathfrak{J}_a \cdot (R_i + \mathfrak{R}_a)$, imamo oblik Ohmovog zakona za izmjeničnu struju (izmjenični napon = jakost izmjenične struje × otpor za izmjeničnu struju). Za vrlo

velike vrijednosti otpora u anodnom krugu $\mathfrak{R}_a = \infty$, bit će $\mathfrak{I}_a = 0$, a prema jedn. (25): $\mathfrak{U}_a = -(\mathfrak{U}_g/D) \cdot 1/(1+R_i/\mathfrak{R}_a) = -\mathfrak{U}_g/[D \cdot (1+0)]$, dakle $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{U}_g/D$. Ovaj izmjenični napon naziva se *izmjeničnim naponom praznog hoda* $\mathfrak{U}_l = -\mathfrak{U}_g/D$. Iz toga slijedi (sl. 46-a*): *Elektronku, kad ona služi kao pojačalo za izmjenični napon* $\mathfrak{U}_g$ *doveden na njezinu uzbudnu rešetku, možemo obzirom na izmjenične pojave u njezinom anodnom krugu nadomjestiti generatorom izmjenične struje s naponom praznog hoda (EMS)* $\mathfrak{U}_g/D$, *unutarnjim otporom* R_i *priključenim na vanjski otpor (otpor izmjeničnoj struji)* $\mathfrak{R}_a$. *Napon na priključnicama* toga generatora izmjenične struje, dakle izmjenični napon na otporu za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_a$ bit će: $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{I}_a \cdot \mathfrak{R}_a = (\mathfrak{U}_g/D) - \mathfrak{I}_a \cdot R_i$. Na sl. 46. vidimo kako se v e k t o r s k i sastavljaju izmjenični naponi za slučaj p o z i t i v n o g faznog kuta φ između $\mathfrak{U}_a$ i $\mathfrak{I}_a$ (prigušnica). Ovakvim prikazivanjem elektronke, koje vrijedi i za nesinusoidne napone $\mathfrak{U}_g$, može se djelovanje elektronke p r e m a v a n vrlo lijepo prikazati i razumjeti. Pojave koje se događaju u s a m o j elektronki nisu sada više zanimljive!





Sl. 46.

56. — Iz odsjeka 41. i 42, odnosno iz sl. 36. i 37. znamo da je radna karakteristika to položenija, što je veći otpor $\mathfrak{R}_a$ u anodnom krugu. Za ovu karakteristiku uvijek je važna *dinamička strmina* ili *radna strmina* S_a, a ne statička strmina S. S_a je zbog povratnog djelovanja anode uvijek m a n j a od S. Dinamičku strminu možemo iz statičke izračunati pomoću jedn. (23): $\mathfrak{I}_a = \left(\frac{S}{1 + \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i}}\right) \cdot \mathfrak{U}_g$. Iz ove jednadžbe vidimo da je anodna izmjenična struja $\mathfrak{I}_a$ proporcionalna izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_g$ na rešetki. Usporedbom s jedn. (21), koja vrijedi za $\mathfrak{R}_a = 0$, možemo ustanoviti da izraz $\left(\frac{S}{1 + \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i}}\right)$ predstavlja dinamičku strminu S_a. Iz toga dobivamo dvije važne jednadžbe:

$$\boxed{S_a = \frac{S}{1 + \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i}}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

$$\boxed{\mathfrak{I}_a = S_a \cdot \mathfrak{U}_g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

R_i je i ovdje a k t i v n i unutarnji otpor (vidi odsjek 52). Mjesto jedn. (28) možemo upotrebiti jednadžbu: $\mathfrak{I}_a = S \cdot \mathfrak{U}_{st}$ iz odsjeka 52, u kojoj

---

*) Bilo kakav otpor za izmjeničnu struju u teoretskim se shemama predočuje praznim pravokutnikom.

je S s t a t i č k a strmina. Tako na primjer imamo iz sl. 40. za d i n a m i č k u strminu: $S_a = tg\,\alpha = 1{,}0$ mA/4 V $= 0{,}25$ mA/V, dok je s t a t i č k a strmina na sl. 39. 2,5 mA/V (vidi odsjek 54). Izmjenična anodna struja ima dakle prema jedn. (28) maksimalnu vrijednost $\mathfrak{I}_a = 0{,}25 \cdot 2 = 0{,}5$ mA, što se opet slaže s našim ranijim izvodom.

Ponavljanje

Prilikom traženja apsolutne vrijednosti iznosa $(R_i + \mathfrak{R}_a)$ ne smijemo R_i i $\mathfrak{R}_a$ zbrajati algebarski nego moramo načiniti v e k t o r s k u sumu. Algebarsku sumu možemo načiniti jedino kod čisto omskih otpora $\mathfrak{R}_a = R_a$, pa je u tom slučaju $R_i + \mathfrak{R}_a = R_i + R_a$. Svaka elektronka kad radi kao pojačalo ponaša se obzirom na pojave u anodnom krugu kao generator izmjenične struje s naponom praznog hoda (EMS) $\mathfrak{U}_g/D$ i unutarnjim otporom R_i, pri čemu je vanjski izmjenični otpor $\mathfrak{R}_a$ spojen u seriju s unutarnjim otporom R_i. U tom slučaju je $\mathfrak{U}_g/D = \mathfrak{I}_a \cdot (R_i + \mathfrak{R}_a)$. Ovim načinom prikazivanja može se djelovanje elektronke prema van vrlo zorno prikazati. Za elektronku koja je opterećena vrijedi: $\mathfrak{I}_a = S_a \cdot \mathfrak{U}_g$, gdje je $S_a = S/\left(1 + \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i}\right)$ d i n a m i č k a s t r m i n a ili r a d n a s t r m i n a.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na što treba paziti prilikom određivanja iznosa $(R_i + \mathfrak{R}_a)$? *Odgovor:* Zbrajanje veličina R_i i $\mathfrak{R}_a$ smije se izvesti samo vektorski. — *P.:* Na koji se način dade djelovanje elektronke kao pojačala zorno prikazati s obzirom na izmjenične pojave u anodnom krugu? *O.:* Elektronku možemo zamisliti kao generator izmjenične struje s unutarnjim otporom R_i i s naponom praznog hoda $\mathfrak{U}_g/D$ priključenim na vanjski otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_a$. — *P.:* Zašto je ovaj način prikazivanja naročito prikladan? *O.:* Zato što kod njega nije potrebno promatrati pojave unutar same elektronke. — *P.:* Kakva ovisnost postoji između izmjenične anodne struje opterećene elektronke i izmjeničnog napona na rešetki? *O.:* Izmjenična anodna struja proporcionalna je izmjeničnom naponu na rešetki: $\mathfrak{I}_a = S_a \cdot \mathfrak{U}_g$. — *P.:* Što je u tom izrazu veličina S_a? *O.:* Strmina radne karakteristike (dinamička strmina).

Pitanja

27. Koliki je uzbudni napon neopterećene elektronke?
28. Kako se može izračunati izmjenična anodna struja neopterećene i opterećene elektronke iz statičke strmine?
29. Koliko je naponsko pojačanje elektronke koja u anodnom krugu ima omski otpor?

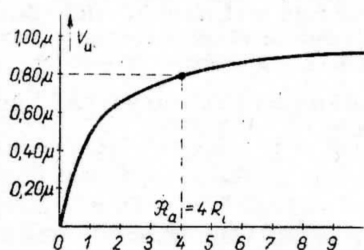
Zadaci

18. Izlazna pentoda ima u normalnoj radnoj tački strminu 9,5 mA/V i unutarnji otpor 50 kΩ. Kolika je: a) radna strmina uz induktivni otpor od 7 kΩ; b) maksimalna vrijednost anodne izmjenične struje uz izmjenični napon na rešetki s tjemenom vrijednošću od 4 V; c) maksimalna vrijednost izmjeničnog napona na otporu u anodnom krugu?
19. Elektronka s unutarnjim otporom od 12 kΩ i prohvatom 3,3% u radnoj tački opterećena je prigušnicom bez otpora induktiviteta 50 H. Koliko je: a) naponsko pojačanje za kružnu frekvenciju 5 000; b) statička strmina u radnoj tački; c) dinamička strmina?

57. — Naponsko pojačanje $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g = (1/D) \cdot 1/(1 + R_i/\mathfrak{R}_a)$ (vidi jedn. 26) to je v e ć e, što je m a n j i odnos $R_i/\mathfrak{R}_a$. Potrebno je dakle da otpor za izmjeničnu struju u anodnom krugu (vanjski otpor) $\mathfrak{R}_a$ bude što je moguće v e ć i prema unutarnjem otporu R_i. Ako je naime $\mathfrak{R}_a$ mnogo veće od R_i, tada je $R_i/\mathfrak{R}_a \ll 1$, a to znači $(1 + R_i/\mathfrak{R}_a) \approx 1$, a $V_u \approx 1/D$. Ako je $\mathfrak{R}_a = \infty$ (p r a z n i h o d), imamo teoretski n a j v e ć e m o g u ć e n a p o n s k o p o j a č a n j e, to jest *faktor pojačanja* μ:

$$\boxed{\mu = \frac{1}{D}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

Faktor pojačanja μ pokazuje dakle koliko je puta u najpovoljnijem slučaju (naime u praznom hodu) anodni izmjenični napon veći od izmjeničnog napona na rešetki. Za elektronku s prohvatom $D = 4\%$ imamo na primjer $\mu = 1/0{,}04 = 25$. Što je m a n j i odnos vanjskog otpora $\mathfrak{R}_a$ prema unutarnjem otporu R_i, to m a n j e je naponsko pojačanje. Tako imamo na primjer iz jednadžbe (26) za $\mathfrak{R}_a = R_i$ vrijednost $V_u = (1/D) \cdot (1/2) = 0{,}5\,\mu$; dalje za $\mathfrak{R}_a = 2\,R_i$ vrijednost $V_u = (1/D) \cdot (1/1{,}5) = 0{,}67\,\mu$, za $\mathfrak{R}_a = 4\,R_i$ vrijednost $V_u = (1/D) \cdot (1/1{,}25) = 0{,}8\,\mu$ itd. Nanesemo li naponsko pojačanje V_u u ovisnosti o odnosu $\mathfrak{R}_a/R_i$ grafički, dobivamo krivulju kao na sl. 47. Vidimo da *povećavanje vanjskog otpora iznad otprilike* č e t v o r o s t r u k e *vrijednosti unutarnjeg otpora ne pridonosi bitno naponskom pojačanju!*



Sl. 47.

58. — Budući da prohvat D imamo u jedn. (26) u brojniku, mora elektronka s obzirom na što veće naponsko pojačanje imati što manji prohvat. Manji prohvat znači međutim uz istu strminu, prema Barkhausenovoj jednadžbi $S \cdot D \cdot R_i = 1$ (vidi dio I, jedn. 92) veći unutarnji otpor, pa je uslijed toga sve teže učiniti vanjski otpor dovoljno velikim. Malen prohvat uzrokuje dalje smanjenje napona pomaka $U_v = -D \cdot U_a$ (vidi dio I, odsjek 264), a isto tako i smanjenje izmjeničnog uzbudnog napona $\mathfrak{U}_{st} = \mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a$ (vidi jedn. 22). Kod elektronke s malenim prohvatom ne smijemo dakle na rešetku dovoditi visok izmjenični napon, da elektronka ne bude preuzbuđena. Prednost malenog prohvata je međutim i maleno povratno djelovanje anode $D \cdot \mathfrak{U}_a$ (vidi odsjek 52). Prohvat trioda određenih za naponsko pojačanje kreće se zbog toga u granicama od 1% do 6,5%. Naponsko pojačanje ovisno je međutim i o strmini S. Znamo već otprije (vidi odsjek 51 i jedn. 23, odnosno 28) da naponsko pojačanje s porastom strmine također raste. Iz svega što je rečeno može se dakle zaključiti da je potrebno imati što veći odnos $G = S/D$, koji se naziva *dobrotom elektronke*. Kako prohvat veličina nema dimenzije, imat će dobrota dimenziju strmine.

59. — Uvrstimo li jedn. (29) u jedn. (26) dobivamo za naponsko pojačanje izraz:

$$\boxed{V_u = \mu \cdot \frac{1}{1 + \dfrac{R_i}{\mathfrak{R}_a}}} \quad \ldots\ldots (30)$$

Ima li na primjer neka trioda u radnoj tački prohvat $D = 3{,}3\%$, imat ćemo uz vanjski otpor $\mathfrak{R}_a = 4\,R_i$ iz jedn. (29): $\mu = 1/0{,}033 = 30$, a iz jedn. (30): $V_u = 30/1{,}25 = 24$. Uvrstimo li u jedn. (26), prema Barkhausenovoj jednadžbi, $1/D = S \cdot R_i$, imat ćemo: $V_u = S \cdot R_i \cdot \dfrac{\mathfrak{R}_a}{(R_i + \mathfrak{R}_a)} = \dfrac{S}{\left(1 + \dfrac{\mathfrak{R}_a}{R_i}\right)} \cdot \mathfrak{R}_a$.

Uvođenjem dinamičke strmine S_a prema jedn. (27) dobivamo:

$$\boxed{V_u = S_a \cdot \mathfrak{R}_a} \quad \ldots\ldots\ldots (31)$$

Ova jednostavna jednadžba za izračunavanje naponskog pojačanja upotrebljava se vrlo često kod *trioda*. Kako je kod *višepolnih elektronki* unutarnji otpor mnogo veći, zbog malog prohvata anoda — uzbudna rešetka (vidi dio I, odsjek 274 i 277) i može iznositi nekoliko megoma, bilo bi ispunjenje zahtjeva $\mathfrak{R}_a = 4\,R_i$ kod njih praktički nemoguće. Vanjski otpor uzimat će se dakle znatno manjim od R_i, pa će prema jedn. (27) dinamička strmina S_a biti približno jednaka statičkoj strmini S, što znači da će *statička karakteristika biti približno i dinamčka*. Za taj slučaj vrijedi:

$$\boxed{V_u \approx S \cdot \mathfrak{R}_a} \quad (\text{za } \mathfrak{R}_a \ll R_i) \quad . \; . \; (32)$$

Ako na primjer neka pentoda ima u radnoj tački statičku strminu $S = 2{,}1$ mA/V i unutarnji otpor $R_i = 2\,\mathrm{M}\Omega$, bit će uz vanjski otpor $\mathfrak{R}_a = 0{,}1\,\mathrm{M}\Omega$ prema jedn. (32): $V_u \approx 0{,}0021 \cdot 100\,000 = 210$. Ova je vrijednost usprkos nepovoljnom odnosu $\mathfrak{R}_a = R_i/20$ vrlo velika.

Ponavljanje

Najveće moguće naponsko pojačanje ili *faktor pojačanja* elektronke jednak je recipročnoj vrijednosti prohvata, dakle $\mu = 1/D$. Naponsko pojačanje V_u je to veće što je manji prohvat, što je veća strmina i što je veći vanjski otpor u odnosu prema unutarnjem otporu elektronke. Naponsko pojačanje ne povećava se međutim znatno ako vanjski otpor prijeđe četvorostruku vrijednost unutarnjeg otpora. Odnos strmine prema prohvatu naziva se *dobrotom elektronke*. Općenito vrijedi: $V_u = S \cdot \mathfrak{R}_a$, a za slučaj da je $\mathfrak{R}_a \ll R_i$ (kod elektronki s više rešetki): $V_u \approx S \cdot \mathfrak{R}_a$. Kod elektronki s više rešetki podudara se statička karakteristika s dinamičkom.

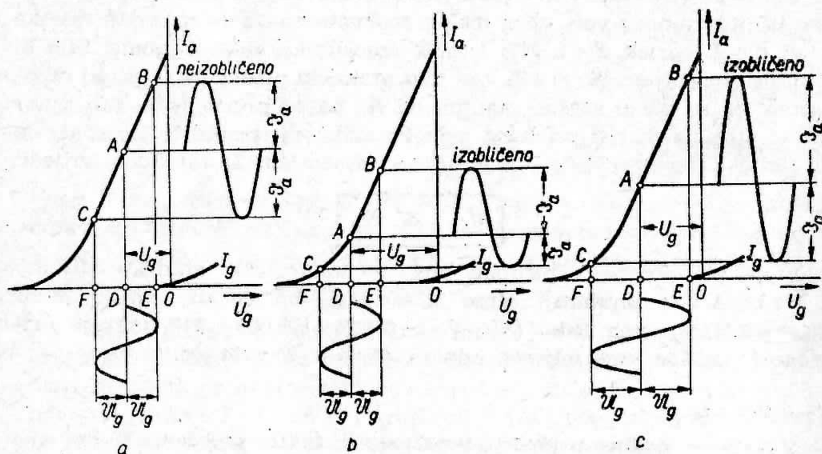
Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod faktorom pojačanja elektronke? *Odgovor:* Faktor pojačanja μ pokazuje koliko je puta u najpovoljnijem slučaju anodni izmjenični napon veći od izmjeničnog napona na rešetki; μ je recipročna vrijednost prohvata. — *P.:* Koliki mora biti najmanji izmjenični otpor u anodnom krugu, da se postigne što veće naponsko pojačanje?

O.: Mora biti po prilici jednak četvorostrukom unutarnjem otporu. — *P.:* Koje su posljedice malenog prohvata? *O.:* Uz malen prohvat imamo veći faktor pojačanja, manje povratno djelovanje anode, manje uzbudno područje i manji unutarnji otpor (uz istu strminu). — *P.:* Što pokazuje dobrota elektronke? *O.:* Odnos strmine prema prohvatu. — *P.:* Koje su mane velikog unutarnjeg otpora? *O.:* Nemogućnost da se vanjski otpor učini dovoljno velikim prema unutarnjem otporu. — *P.:* Kod kakvih elektronki to imamo? *O.:* Kod elektronki s više rešetki. — *P.:* Kako se može naponsko pojačanje kod njih približno izračunati? *O.:* $V_u \approx S \cdot \mathfrak{R}_a$. — *P.:* Kako se najlakše izračuna naponsko pojačanje triode? *O.:* Iz jednadžbe: $V_u = S_a \cdot \mathfrak{R}_a$.

Izbor radne tačke

60. — Iz slika 39. do 41, odnosno odsjeka 44. i 45. vidjeli smo da će anodna izmjenična struja biti sinusoidna, dakle neizobličena samo onda, kad se radna tačka nalazi na r a v n o m dijelu karakteristike. Za rad bez izobličenja vrlo je važan prema tome ispravan izbor radne tačke. Taj se vrši odabiranjem odgovarajućeg negativnog napona na rešetki i istosmjernog anodnog napona. Kod svih ovih razmatranja moramo dakako misliti



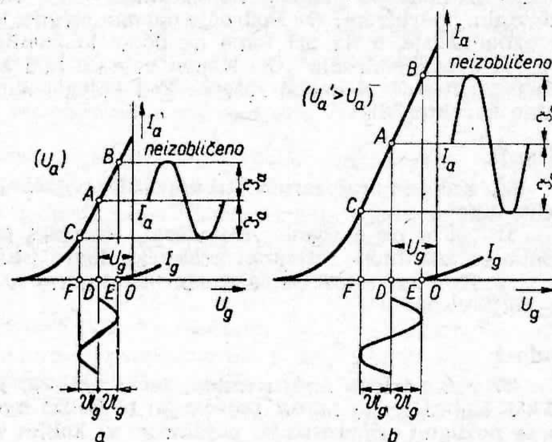
Sl. 48.

uvijek na r a d n u ili d i n a m i č k u k a r a k t e r i s t i k u, jer jedino ona dolazi u obzir kod izmjeničnih pojava koje se dešavaju u anodnom krugu. Razmotrimo najprije sl. 48-a: Ovdje je radna tačka *A* pomoću negativnog prednapona $U_g = OD$ izabrana tako da se nalazi t a č n o u s r e d i n i ravnog dijela karakteristike *BC*. Izmjenični napon na rešetki $\mathfrak{U}_g$ mijenja se oko tačke mirovanja *D* za jednake iznose *DE*, odnosno *DF*. Anodna izmjenična struja $\mathfrak{I}_a$, koja nastaje uslijed tih promjena napona, sinusoidna je i n e i z o b l i č e n a. Drugačije su prilike na sl. 48-b: Ovdje je prednapon na rešetki toliki da se radna tačke *A* nalazi na donjem z a k r i v l j e n o m dijelu karakteristike. Vidimo da se sada uz sinusoidan napon na rešetki anodna izmjenična struja $\mathfrak{I}_a$ neće više

mijenjati sinusoidno, nego će biti izobličena. Tjemene vrijednosti anodne izmjenične struje sada su različite veličine $\mathfrak{I}_a$ i $\mathfrak{I}_a'$. Na sl. 48-c vidimo konačno da će anodna izmjenična struja biti i z o b l i č e n a i onda kad se radna tačka *A* nalazi na ravnom dijelu karakteristike, a izmjenični napon na rešetki ima preveliku vrijednost. Elektronka se pri tome uzbuđuje do zakrivljenog dijela karakteristike, što znači da je preuzbuđena. Prednapon na rešetki i izmjenični napon moraju dakle uvijek (za dani anodni istosmjerni napon) biti odabrani tako da se za uzbuđivanje iskorištava s a m o r a v n i d i o r a d n e k a r a k t e r i s t i k e. (O iznimkama, na primjer kod »B-pojačala«, govorit ćemo kasnije.)

61. — Upada u oči da se radna karakteristika na slikama 48-a i 48-c ne iskorištava u gornjem dijelu, premda je i tu ravna. Razlog tome je pojava rešetkine struje I_g, koju s obzirom na rad bez izobličenja moramo izbjegavati (vidi dio I, odsjek 263). Kako struja I_g počinje da se pojavljuje u tački *E* (sl. 48-a i 48-c), ne smijemo za uzbuđivanje iskorištavati područje napona rešetke *OE*. Želimo li biti posve sigurni, moramo računati s vrijednošću $OE \doteq -2$ V (opširnije podatke o tački u kojoj počinje teći struja rešetke vidi u dijelu I, odsjek 263). Maksimalna vrijednost $\mathfrak{U}_g$ izmjeničnog napona na rešetki, koja je dopuštena s obzirom na rad bez izobličenja, određena je dakle u prvom redu tačkom u kojoj počinje teći struja rešetke, a zatim početkom zakrivljenja donjeg dijela radne karakteristike. Između ovih dviju granica nalazi se *područje uzbuđivanja* (*EF* na sl. 48-a).

62. — Područje uzbuđivanja može se proširiti povećanjem anodnog istosmjernog napona (sl. 49). Time se naime vrši pomicanje karakteristike u negativno područje napona na rešetki (vidi dio I, odsjek 262). Usporedba sl. 49-a sa sl. 49-b pokazuje da će područje uzbuđivanja *EF* kod većeg anodnog istosmjernog napona biti znatno veće. Uslijed toga imamo veću anodnu izmjeničnu struju (dakako uz veći izmjenični napon na rešetki), a isto tako i veću anodnu istosmjernu struju. Ako je anodni napon



Sl. 49.

veći, moramo isto tako odabrati i veći negativni napon na rešetki da radna tačka *A* bude opet u sredini ravnog dijela karakteristike. Pri tome

međutim treba voditi račun o činjenici da se anodni istosmjerni napon ne može odabrati po volji visok, i da ne smije prijeći maksimalnu vrijednost koju je propisala tvornica elektronki. U protivnom slučaju moglo bi doći do uništenja elektronke uslijed ionizacije sudarom, jer i u najboljem vakuumu imamo još uvijek ostataka plina. Uz previsoke anodne istosmjerne napone može dalje doći i do kliznih struja po izolatoru između izvoda pojedinih elektroda, a i do preskoka iskre. Konačno treba voditi računa i o tome da se ne prekorači maksimalno dopušteno anodno opterećenje = anodna istosmjerna struja × anodni istosmjerni napon (vidi dio I, odsjek 262).

Ponavljanje

Sinusoidni izmjenični napon na rešetki elektronke stvara sinusoidnu izmjeničnu struju u anodnom krugu samo u slučaju kad se r a d n a t a č k a nalazi n a s r e d i n i r a v n o g dijela radne karakteristike. Područje uzbuđivanja elektronke ograničeno je s obzirom na pojačanje bez izobličenja s jedne strane time, što pozitivne tjemene vrijednosti izmjeničnog napona ne smiju napon rešetke toliko sniziti da počne teći struja rešetke, a s druge strane time, što negativne tjemene vrijednosti napona rešetke ne smiju dolaziti do zakrivljenog područja karakteristike. Povišenjem anodnog istosmjernog napona može se uzbudno područje povećati, samo anodni istosmjerni napon ne smije pri tome prijeći dopuštenu maksimalnu vrijednost.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čime je određena radna tačka elektronke kao pojačala? *Odgovor:* Anodnim naponom i negativnim naponom na rešetki. — *P.:* Gdje se mora nalaziti radna tačka, ako ne želimo da dođe do izobličenja? *O.:* Na sredini ravnog dijela radne karakteristike. — *P.:* Kad će elektronka usprkos ispravnom izboru radne tačke biti preuzbuđena? *O.:* Kod prevelikih izmjeničnih napona na rečetki. — *P.:* Što razumijevamo pod uzbudnim područjem? *O.:* Područje napona rečetke koje se može iskoristiti za uzbuđivanje, a da pri tome ne dođe do izobličenja. — *P.:* Koje su granice ovoga područja? *O.:* Napon rešetke kod kojeg dolazi do struje rešetke, i negativni napon rešetke kod kojeg počinje donje zakrivljenje radne karakteristike.

Pitanja

30. Kako se može izračunati naponsko pojačanje iz faktora pojačanja elektronke?

31. Zašto ne možemo vrlo visoki, teoretski faktor pojačanja elektronke sa zaštitnom rešetkom praktički dobro iskoristiti?

32. Koji su razlozi da se anodni istosmjerni napon ne može odabrati po volji visok?

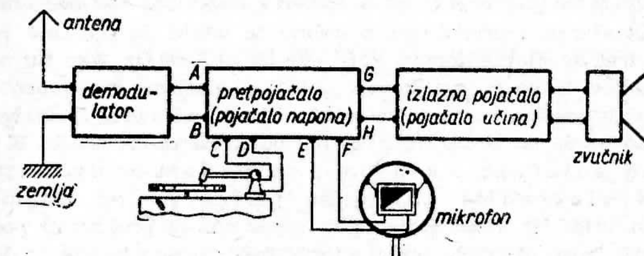
Zadaci

20. Neka trioda ima u radnoj tački prohvat 11% i unutarnji otpor 4,6 kΩ. Koliki je: a) faktor pojačanja; b) koliki mora biti vanjski otpor, da se postigne osmerostruko pojačanje; c) kolika je radna strmina?

21. Neka pentoda ima u radnoj tački statičku strminu 2,1 mA/V i unutarnji otpor 2 MΩ. Koliki je: a) ukupni prohvat; b) faktor pojačanja; c) naponsko pojačanje, ako se u anodnom krugu nalazi ugođeni zaporni krug s induktivitetom 0,1 mH, kapacitetom 400 pF i radnim otporom 1,25 Ω?

Općenito o niskofrekventnim pojačalima

63. — Zadaća je *niskofrekventnog pojačala* da slabe niskofrekventne izmjenične napone, koje dobivamo iz demodulatora, zvučnice, mikrofona, tonfilmske vrpce ili preko telefonskog voda, toliko pojača da se mogu slušati pomoću zvučnika ili slušalica. Na sl. 50. vidimo blok-shemu jednog niskofrekventnog pojačala višestrane upotrebe. Niskofrekventni izmjenični naponi, koje dobivamo iz demodulatora prijemnika, dolaze preko ulaznih priključnica *A* i *B* na »p r e t p o j a č a l o«; na priključnice



Sl. 50.

C i *D* možemo na pretpojačalo priključiti zvučnicu, pa reproducirati gramofonske ploče, a na priključnice *E* i *F* mikrofon pa prenositi govor ili glazbu. Slabi izmjenični naponi pojačavaju se u pretpojačalu toliko da mogu uzbuditi »izlazno pojačalo« priključeno na priključnice *G* i *H*. Izlazno pojačalo daje energiju za pogon zvučnika. Budući da pretpojačalo služi isključivo za pojačavanje niskofrekventnih izmjeničnih napona i ne mora davati znatniju izmjeničnu snagu, nazivamo ga i *naponskim pojačalom*. Nasuprot tome zadatak izlaznog pojačala je, da dade snagu potrebnu za pogon zvučnika. Zato izlazno pojačalo nazivamo i *pojačalom snage*. Prema načinu na koji su pojedini stupnjevi niskofrekventnog pojačala međusobno povezani razlikujemo *otporno pojačalo, pojačalo s prigušnicom* i *transformatorsko pojačalo.*

64. — Pri proračunavanju uređaja za prijenos zvuka važno je da bar približno znamo veličinu niskofrekventnih izmjeničnih napona koje daju pojedini izvori zvučnih frekvencija. U tablici koja slijedi navedene su e f e k t i v n e vrijednosti izmjeničnih napona važnijih izvora:

Kondenzatorski mikrofon (sa jednostepenim pretpojačalom)	0,001 do 0,005 V
Pojasni mikrofon (s ugrađenim transformatorom) . .	0,002 V
Visokoomski ugljeni mikrofon (s transformatorom 1 : 25)	0,01 do 0,02 V
Niskoomski ugljeni mikrofon (s transformatorom 1 : 8)	0,02 do 0,04 V
Fotoćelija	0,02 do 0,06 V
Detektor s kristalom	0,05 do 0,1 V
Zvučnica (na cca 800 Hz)	0,2 do 3 V
Žični razglas	0,5 do 2 V
Audion (s pentodom)	20 V

65. — Dobro niskofrekventno pojačalo mora reproducirati prirodno sve frekvencije iz čujnog tonskog područja. To je međutim vrlo često teško ispuniti, jer se čujno područje ljudskog uha proteže od 16 Hz do 20 000 Hz. U glazbi su osnovni tonovi između 27 Hz i 4 000 Hz, a u ljudskom govoru između 80 Hz i 1 100 Hz (sl. 51). Svaki muzički ton i glas ljudskog govora sadrži osim toga nadtonove s frekvencijama koje su višekratnik osnovne frekvencije. Broj i jakost ovih nadtonova određuje boju zvuka, tako da na primjer isti ton na klaviru zvuči drugačije nego na orguljama, na violini drugačije nego na flauti. Za vjernu reprodukciju potrebno je dakle da pojačalo prenosi vjerno i frekvencije nadtonova koje leže iznad 4 000 Hz. Ako taj zahtjev nije ispunjen teško je razlikovati pojedine glazbene instrumente, a i razumljivost govora znatno se smanjuje. Ukupni opseg ljudskog glasa proteže se od 80 do 10 000 Hz, a glazbe od 27 Hz do 16 000 Hz. Kvalitativno pojačalo i k njemu pripadajući uređaj moraju dakle raditi dobro na području od najmanje 40 Hz do 10 000 Hz. (Kod prijemnika nema smisla proširivati područje frekvencija iznad 10 000 Hz, jer su najviše frekvencije s kojima se dopušta moduliranje 8 000 do 9 000 Hz).

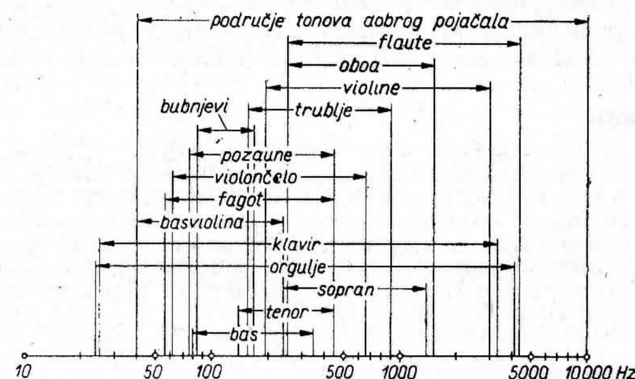
Ponavljanje

Niskofrekventno pojačalo služi za pojačavanje slabih niskofrekventnih izmjeničnih napona, a sastavljeno je obično od pretpojačala i izlaznog pojačala. U pretpojačalu se slabi izmjenični naponi pojačavaju toliko da mogu uzbuditi izlazno pojačalo, koje daje energiju za zvučnik. Pretpojačala se nazivaju i naponskim pojačalima; izlazna pojačala nazivaju se pojačalima snage, jer potrošaču moraju davati ne samo stanoviti izmjenični napon, nego u prvom redu stanovitu izmjeničnu snagu. Prema načinu vezanja pojedinih stupnjeva razlikujemo otporna pojačala, pojačala s prigušnicom i transformatorska pojačala. Dobro niskofrekventno pojačalo mora jednoliko pojačavati što šire tonsko područje, kako bi se mogli vjerno reproducirati ne samo osnovni tonovi, nego i viši nadtonovi raznih glazbenih instrumenata i ljudskog glasa. Za dobru reprodukciju potrebno je jednolično pojačanje svih frekvencija između 40 Hz i 10 000 Hz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi niskofrekventno pojačalo? *Odgovor:* Da pojača slabe niskofrekventne izmjenične napone i da dade dovoljno izmjenične energije potrošaču. — *P.:* Što je zadatak pretpojačala? *O.:* Ono mora slabe niskofrekventne izmjenične napone toliko pojačati, da mogu uzbuditi izlazno pojačalo? — *P.:* Čemu služi izlazno pojačalo? *O.:* Da dade dovoljno izmjenične snage zvučniku. — *P.:* Kakve vrste niskofrekventnih pojačala postoje? *O.:* Otporna pojačala, pojačala s prigušnicom i transformatorska pojačala. — *P.:* Što su nadtonovi? *O.:* Tonovi koji određuju boju zvuka, a frekvencija im je višekratnik frekvencije osnovnog tona. — *P.:* Dokle se proteže područje nadtonova glazbenih instrumenata? *O.:* Do 16 000 Hz — *P.:* Koje područje frekvencija mora pojačalo jednolično pojačavati da se dobije dobra reprodukcija? *O.:* Područje od 40 Hz do 10 000 Hz.

66. — Ako naponsko pojačanje jednog stupnja nije dovoljno, moramo više stupnjeva vezati jedan za drugi. Ako je naponsko pojačanje prvog stupnja 20, drugog također 20, a trećeg 10, bit će ukupno naponsko pojačanje $20 \cdot 20 \cdot 10 = 4\,000$. Ukupno naponsko pojačanje bit će dakle jednako produktu naponskih pojačanja pojedinih stupnjeva. Međutim zbog smetnji nije moguće pri pojačavanju prijeći neku određenu granicu. Tu granicu postizavamo onda, kad su smetnje koje pojačalo također pojačava jače od korisnog izmjeničnog napona. Kao *smetnje* dolaze u obzir naponi iz mreže, koji bilo da



Sl. 51.

se u pojačalo prenose magnetski ili električki, bilo da se induciraju u samom pojačalu. Ove smetnje primjećuju se u zvučniku kao brujanje, a dadu se otkloniti dobrim oklapanjem ulaznih vodova i čitavog pojačala (vidi dio I, odsjeke 224 i 225). Pri reprodukciji ploča i tonfilmske vrpce čuje se kao smetnja šum igle (uslijed nehomogenosti materijala od kojeg je ploča načinjena) ili smetnje zbog nečistoće filmske vrpce. Što je tiša glazba ili govor, to smetnje dolaze jače do izražaja. Smetnje mogu međutim nastati i u samom pojačalu zbog loših kontakata, slabog materijala (otpornici, kondenztori, zavojnice itd.), loših baterija (stare suhe baterije) i elektronki s lošim vakuumom. Ove smetnje dadu se otkloniti pažljivom gradnjom i pažljivim izborom dijelova.

67. — Mnogo je lošije s drugim izvorom smetnji koji nije moguće otkloniti i koji postavlja ozbiljnu granicu pojačavanju. Radi se naime o *toplinskom šuštanju.* Slobodni elektroni u metalu giblju se među molekulama metala najrazličitijim brzinama bez reda i to u toliko brže, što je viša temperatura. Energija gibanja tih elektrona odgovara sadržaju topline metala. Uslijed toga nastaju na krajevima električkih vodiča (na primjer visokomskih otpornika, zavojnica itd.) nepravilne promjene napona, koje se jako pojačavaju ako dospiju na ulaz pojačala. U pojačalima s više stupnjeva ovo toplinsko šuštanje može se vrlo dobro primijetiti i u zvučniku, pa tako u stanovitom smislu slušamo gibanje elektrona.

68. — Zbog nejednoličnog gibanja elektrona podvrgnuta je promjenama i emisija užarene katode. Ovu pojavu otkrio je najprije Schottky i nazvao je *efektom sačme.* (Ovaj naziv potječe odatle što se taj efekt čuje u zvučniku kao zvuk što ga uzrokuje sačma kad se sipa po limu). Kod uobičajenih vrijednosti radnog otpora u krugu rešetke stvaraju se u pojačalu uslijed ovih efekata naponi od nekoliko mikrovolta. I z t o g a s l i j e d i d a g o t o v o n e m a s m i s l a p o j a č a v a t i u l a z n e n a p o n e m a n j e o d 10 μV, ako ih se želi slušati preko zvučnika. Izmjenični naponi, koji u praksi dolaze u obzir, na sreću su znatno veći od 10 μV (vidi odsjek 64). O prilikama kod v i s o k o f r e k v e n t n i h pojačala govorit ćemo u odsjeku 193. Najviše naponsko pojačanje s niskofrekventnim pojačalom ide do nekih 1 000 000. Što je veće naponsko pojačanje koje želimo postići, to brižljivije moramo otkloniti smetnje.

Ponavljanje

Ako želimo pojačavati slabe izmjenične napone niskofrekventnim pojačalom s više stupnjeva, dolaze do izražaja i razne unutarnje i vanjske s m e t n j e koje se u većini slučajeva dadu posve otkloniti. T o p l i n s k o š u š t a n j e, koje je posljedica nepravilnog gibanja elektrona, i S c h o t t k y e v e f e k t, koji je uvjetovan nepravilnom emisijom kao posljedicom tog nepravilnog gibanja elektrona, čine granicu naponskom pojačanju. Ukupno naponsko pojačanje jednako je produktu naponskih pojačanja pojedinih stupnjeva pojačala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji sve izvori smetnji mogu štetno utjecati na reprodukciju pojačala? *Odgovor:* Brujanje koje dolazi od blizih vodova jake struje, šum igle kod reprodukcije gramofonskih ploča, nečistoća vrpce kod reprodukcije s tonfilmskih vrpca, loši kontakti, slabi dijelovi, loše baterije i elektronke s nedovoljnim vakuumom. — *P.:* Koji se izvori smetnji ne dadu otkloniti? *O.:* Toplinsko šuštanje i Schottkyev efekt. — *P.:* Što uzrokuje ove smetnje? *O.:* Nepravilno gibanje elektrona u metalima. — *P.:* Čemu je jednako ukupno naponsko pojačanje pojačala s više stupnjeva? *O.:* Jednako je produktu naponskih pojačanja pojedinih stupnjeva.

Pitanja

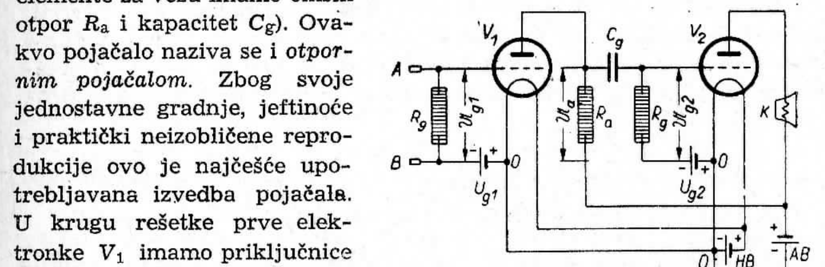
33. Što određuje boju zvuka muzičkih instrumenata?
34. Koliki je najniži napon, koji s niskofrekventnim pojačalom s više stupnjeva ima smisla pojačavati?

Zadaci

22. Prijemnik jednolično pojačava područje frekvencija od 40 Hz do 5 120 Hz. Koliko je to oktava?
23. Pojasni mikrofon daje izmjenični napon od 2 mV na priključnice mikrofonskog pojačala s dva stupnja, od kojih svaki ima naponsko pojačanje 15. Ovo pretpojačalo je priključeno na drugo pojačalo s naponskim pojačanjem 25, a ovo na izlazno pojačalo s naponskim pojačanjem 3. Koliko je: a) ukupno naponsko pojačanje; b) izlazni izmjenični napon?
24. Naponsko pojačanje niskofrekventnog pojačala je 1 000; a) koliki mora da bude ulazni izmjenični napon, ako izlazni napon mora da bude 10 V; b) odgovara li ovo pojačalo kao pretpojačalo za kondenzatorski, odnosno pojasni mikrofon?

Otporno niskofrekventno pojačalo

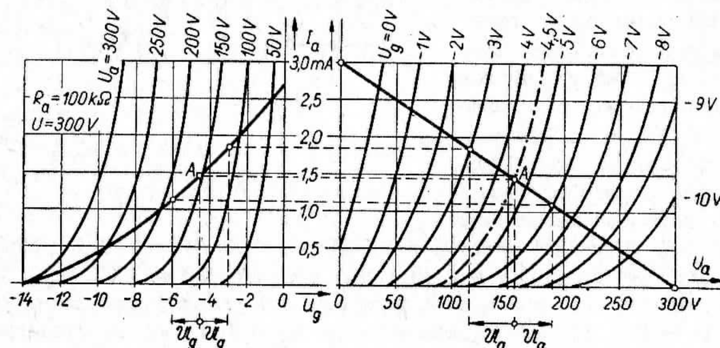
69. — Na sl. 52. vidimo potpunu shemu jednog niskofrekventnog pojačala. Kako se vidi, ovdje se radi o baterijskom pojačalu sa dva stupnja *s otpornom vezom* ili *R-C-vezom* (ovaj naziv dolazi od toga, što kao elemente za vezu imamo omski otpor R_a i kapacitet C_g). Ovakvo pojačalo naziva se i *otpornim pojačalom.* Zbog svoje jednostavne gradnje, jeftinoće i praktički neizobličene reprodukcije ovo je najčešće upotrebljavana izvedba pojačala. U krugu rešetke prve elektronke V_1 imamo priključnice A—B na koje se dovodi tonfrekventni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{g1}$ (na primjer iz mikrofona ili zvučnice). Negativni prednapon U_{g1} iz suhe baterije određuje položaj radne tačke na dinamičkoj karakteristici (vidi odsjeke 44 i 60, te sl. 38). Na o m s k o m o t p o r u R_a nastaje prema jedn. (26) pojačani izmjenični napon $\mathfrak{U}_a = V_u \cdot \mathfrak{U}_{g1}$. Istosmjerna anodna struja I_a i njoj superponirana izmjenična struja $\mathfrak{I}_a$ teku preko negativnog kraja žarne niti O na anodnu bateriju A—B, a onda preko pozitivnog pola i anodnog otpora R_a na anodu elektronke V_1. Pojačani izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$ prenosi se preko k o n d e n z a t o r a z a v e z u C_g na rešetku slijedeće elektronke V_2. Rešetka ove elektronke dobiva potreban negativni prednapon U_{g2} preko o d v o d n o g o t p o r a $R_g = 0{,}5$ do 2 MΩ. Kad ne bi bilo toga otpora, rešetka bi se prejako negativno nabila, uslijed čega bi se zapriječio prolaz anodnoj struji (na odvodnom otporu ne nastaje pad napona, jer ne teče struja rešetke, pa rešetka prema tome ima uvijek pun napon U_{g2}). Kondenzatorom za vezu C_g odjeljuju se različiti naponi U_a i U_{g2}. Kroz ovaj kondenzator teče samo niskofrekventna izmjenična struja. Ako je taj kondenzator dovoljno velik (najmanje 10 000 do 20 000 pF), može se pad napona na njemu prema padu napona na odvodnom otporu R_g posve zanemariti (vidi odsjek 78). Na R_g imamo prema tome praktički isto toliki izmjenični napon kao i na R_a, što znači da je *anodni izmjenični napon prve elektronke jednak izmjeničnom naponu na rešetki druge elektronke* ($\mathfrak{U}_a = \mathfrak{U}_{g2}$). Izmjenični napon $\mathfrak{U}_{g2}$ pojačava se elektronkom V_2 još jedanput, a onda dovodi na primjer na slušalice K.



Sl. 52.

70. — Konstrukciju r a d n e k a r a k t e r i s t i k e i određivanje r a d n e t a č k e poznajemo iz ranijih izlaganja. Za primjer uzmimo da je $U = 300$ V, a $R_a = 100$ kΩ $= 0{,}1$ MΩ. Nacrtajmo najprije radnu karakteristiku u U_a—I_a-sistemu za omski anodni otpor $R_a = 100$ kΩ (sl. 53 desno). Ova karakteristika počinje kod $U_a = 300$ V, a svršava kod $I_a = 3$ mA, pa je prema jedn. (19) $tg\,\alpha = 300/0{,}003 = 100\,000\ \Omega = R_a$. Radnu tačku A moramo odabrati tako da izobličenja budu što manja (nejednake

razmake presjecišta radne karakteristike sa statičkim karakteristikama treba uzeti u obzir!). Odaberemo na primjer prednapon $U_g = -4{,}5$ V. Radnu tačku A dobit ćemo onda kao presjecište radne karakteristike sa statičkom karakteristikom za $U_g = -4{,}5$ V. Kako njoj odgovara anodna struja mirovanja $I_a = 1{,}45$ mA, bit će anodni napon $U_a = 300 - 1{,}45 \cdot 100 = 155$ V (vidi sl. 53). U stvari n e s m i j e m o kroz radnu tačku nacrtati radnu karakteristiku za $R_a = 100\,k\Omega$, ako promatramo i z m j e n i č n e procese. Za njih je mjerodavan aktivni otpor R, koji se sastoji od paralelnog spoja R_a i R_g, jer su ova dva otpora za izmjeničnu struju spojena



Sl. 53.

paralelno (otpor za izmjeničnu struju kondenzatora C_g i baterija za prednapon i anodni napon možemo praktički zanemariti). Prema tome je $R = R_a \cdot R_g / (R_a + R_g)$. Ako je R_g mnogo veće od R_a, onda je praktički $R \approx R_a$. Na sl. 53. lijevo imamo konačno ucrtanu radnu karakteristiku u U_g—I_a-sistemu (vidi sl. 37 i odsjeke 41 i 42). Na sl. 53. su osim toga dvostrukim strelicama označeni i izmjenični naponi rešetke $\mathfrak{U}_g = 1{,}5$ V i $\mathfrak{U}_{gef} = 1{,}5 \cdot 0{,}707 = 1{,}06$ V. Iz toga se može vidjeti da pozitivne i negativne tjemene vrijednosti napona $\mathfrak{U}_a$ neće biti posve jednake (malena izobličenja uslijed toga što radna karakteristika u U_g—I_a-sistemu nije pravac!).

71. — Naponsko pojačanje otpornog pojačala je prema jedn. (26) i (31) (jer je $\mathfrak{R}_a = R_a$):

$$V_u = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_a}} = S_a \cdot R_a \quad \text{. . . . (33)}$$

Za otporna pojačala s *triodama* (na primjer s elektronkama kojima je drugo slovo »C« ili sa starijim tipovima REN 904, A 410, RE 034, W 406, RE 084, A 408 itd.) vrijede obično ovi podaci: $D = 1$ do $6{,}5\%$, $R_a = 0{,}05$ do $0{,}5\,M\Omega$, $R_i = 10$ do $100\,k\Omega$ (usporedi odsjeke 57. i 58.)[5]) Općenito je

[5]) Treba voditi računa o činjenici da je anodni napon U_a snižen omskim anodnim otporom R_a. Uslijed toga je unutarnji otpor R_i povećan (vidi odsjek 52).

rešetkin odvodni otpor R_g najmanje 3 do 4 puta veći od anodnog otpora R_a, pa se uslijed toga R_a ne smanjuje mnogo paralelnim spajanjem otpora R_g. Za otporna pojačala s p e n t o d a m a (na primjer elektronke sa drugim slovom »F« ili starije elektronke RENS 1284, H 4128 D, RENS 1254, AN 4126, RES 094, H 406 D, itd.) R_i mnogo je veće od R_a (vidi odsjek 59). U tom slučaju uzima se $R_a = 0{,}1$ do $0{,}3\,M\Omega$, a u dovod k zaslonskoj rešetki spaja se prednapon od kojih $0{,}5\,M\Omega$, da se napon zaslonske rešetke smanji u odnosu prema anodnom naponu. U tom slučaju postizavamo kod najvišeg dozvoljenog anodnog istosmjernog napona naponsko pojačanje od 100 do 200.

Ponavljanje

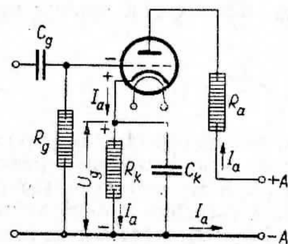
U pojačalima s otpornikom kao elementom za vezu (kod o t p o r n i h p o j a č a l a) prenosi se anodni izmjenični napon prve elektronke preko omskog anodnog otpora i kondenzatora za vezu u krug rešetke slijedeće elektronke. Negativni prednapon za ovu drugu elektronku dovodi se na rešetku preko rešetkinog odvodnog otpora. Anodni izmjenični napon prve elektronke praktički je jednak izmjeničnom naponu na rešetki druge elektronke, ako je kondenzator za vezu dovoljno velik (10 000 do 20 000 pF). Odvodni otpor mora biti barem 3 do 4 puta veći od anodnog otpora ($R_g = 3$ do $4\,R_a$). Za otporno pojačalo dolaze u obzir t r i o d e s prohvatom od 1 do $6{,}5\%$ i vanjskim anodnim omskim otporom od 0,05 do $0{,}5\,M\Omega$. Ako upotrebljavamo p e n t o d e, onda je u većini slučajeva $R_a = 0{,}1$ do $0{,}3\,M\Omega$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se međusobno vežu pojedini stupnjevi kod otpornog pojačala? *Odgovor:* Pomoću omskog anodnog otpora i kondenzatora za vezu. — *P.:* Koja je svrha kondenzatora za vezu? *O.:* On mora spriječiti dolazak visokog anodnog istosmjernog napona na rešetku druge elektronke, mora dakle odijeliti anodni istosmjerni napon od prednapona rešetke. — *P.:* Zašto se prednapon mora dovoditi preko odvodnog otpora? *O.:* Zato, što je rešetka blokirana kondenzatorom za vezu, pa bi se inače nabila toliko jako negativno, da bi sprečavala prolaz anodnoj struji. — *P.:* Koliki mora biti kondenzator za vezu? *O.:* Oko 10 000 do 20 000 pF. — *P.:* Što je potrebno reći o veličini odvodnog otpora rešetke? *O.:* Odvodni otpor mora da bude 2 do 3 puta veći od anodnog otpora. U većini slučajeva je $R_g = 0{,}5$ do $2\,M\Omega$. — *P.:* Koje su elektronke podesne za otporno pojačavanje? *O.:* Triode s prohvatom od 1 do $6{,}5\%$ i unutarnjim otporom od 10 do 100 kΩ.

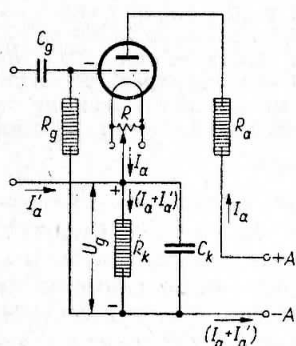
72. — U spojevima koje smo dosad opisivali uzimao se uvijek negativni prednapon rešetke iz b a t e r i j a, što znači da smo svakoj elektronki davali *stalni prednapon rešetke*. Iako je taj način vrlo jednostavan, moramo kod aparata koji se priključuju na rasvjetnu mrežu zahtijevati da se svi potrebni naponi uzimaju iz mreže. Na taj način dobivamo u prvom redu a u t o m a t s k i p r e d n a p o n r e š e t k e za i n d i r e k t n o žarene e l e k t r o n k e kao pad napona na omskom otporu R_k u krugu katode (k a t o d n i o t p o r). Na sl. 54. vidimo pojačalo s jednim stupnjem otpornog pojačanja. Kroz katodni otpor R_k teče anodna struja I_a (kod višepolnih elektronki suma anodne struje i struja rešetki s pozitivnim

naponom), pa na njemu nastaje istosmjeran pad napona $U_g = I_a \cdot R_k$. Pri tome je zbog smjera anodne struje onaj kraj otpornika, koji je vezan na katodu, pozitivan prema kraju koji je vezan na negativni pol izvora anodne struje. Veličinu katodnog otpora treba odabrati tako da se uz danu jakost anodne struje I_a postigne željeni prednapon U_g. Kako je rešetka preko odvodnog otpora R_g spojena s minus-polom izvora anodne struje, to je ona za iznos U_g negativnija nego katoda. Uslijed toga što nema struje rešetke, veličina R_g neće utjecati na veličinu U_g. Ovaj jednostavni način spajanja zaštićuje u isto vrijeme elektronku od eventualnog preopterećenja. Prilikom porasta anodne struje postaje naime i pad napona na katodnom otporu automatski veći, te je uslijed toga negativni prednapon veći, zbog čega se anodna struja smanji. Kondenzator C_k, koji je spojen paralelno katodnom otporu R_k (katodni kondenzator), ima kapacitet od nekoliko mikrofarada, a zadaća mu je da stvori put anodnoj izmjeničnoj struji prema negativnom polu izvora struje; na taj način se izbjegne smanjenje pojačanja (vidi odsjek 79).



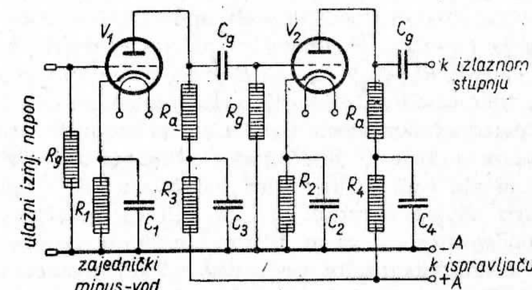
Sl. 54.

73. — Kod direktno žarenih elektronki upotrebljava se često *poluautomatsko dobivanje prednapona rešetke*. I ovdje se prednapon dobiva na katodnom otporu R_k koji je premošten katodnim kondenzatorom C_k (sl. 55). Kroz katodni otpor R_k ne teče sada samo anodna struja I_a elektronke, kod koje se u katodi nalazi ovaj otpor, nego i suma anodnih struja I_a' elektronki iz prethodnih stupnjeva. Prednapon je dakle u tom slučaju: $U_g = (I_a + I_a') \cdot R_k$. Pozitivni kraj otpora R_k priključen je na klizač djelitelja napona R od 50 do 100 Ω. Ovaj se klizač mora namjestiti tako da smetnje uslijed brujanja padnu na najniži iznos (često se ovaj otpornik može i ispustiti, da se pozitivni kraj otpora R_k priključi direktno na sredinu namotaja transformatora koji daje napon žarenja). Rešetka elektronke spojena je, kao i na sl. 54, preko odvodnog otpora R_g na negativni kraj katodnog otpora R_k, pa je prema tome za pad napona U_g negativnija od električke sredine žarne niti (vidi odsjek 32). Ako vod kroz koji teče anodna struja I_a' *nije* priključen kao na sl. 55, nego na drugi kraj otpora R_k, imamo automatski prednapon, a kroz R_k teče tada samo anodna struja I_a.



Sl. 55.

74. — Na sl. 56. vidimo još jednom dvostepeno otporno pojačalo s indirektno žarenim triodama s pogonom iz rasvjetne mreže. Potrebni istosmjerni napon doveden na tačke $+A$ i $-A$ uzima se iz ispravljača. U tu svrhu može se na primjer tačka $+A$ spojiti s tačkom A, a tačka $-A$ s tačkom B ispravljača prikazanog na sl. 20. Negativni prednaponi dobivaju se automatski pomoću katodnih otpornika R_1, odnosno R_2, koji su premošteni kondenzatorima C_1, odnosno C_2. Kao novo primjećujemo odmah elemente R_3—C_3 i R_4—C_4 u anodnim krugovima. To su elementi koji služe za *sprečavanje povratne veze*. Ako njih nema, može se lako dogoditi da se pojačalo pretvori u niskofrekventni oscilator, što se u zvučniku primjećuje kao da »kaplje«. Razlog ovom nesigurnom radu pojačala je *galvanska reakcija*, koja nastaje tako da se jedan dio izlaznog izmjeničnog napona prenosi natrag na prethodne elektronke preko zajedničkog unutarnjeg otpora izvora struje. Kod pojačala na baterijski pogon unutarnji otpor baterije jednak je omskom otporu baterije, dok je kod pojačala s priključkom na mrežu taj otpor približno jednak kapacitivnom otporu posljednjeg kondenzatora u filtru (na primjer C na sl. 20 i 25 ili C_2 na sl. 21 i 26). Povratno djelovanje bit će to jače, što je veći unutarnji otpor izvora struje. Ono će se prema tome primijetiti naročito jako kod pojačala koja dobro reproduciraju niže frekvencije. Izmjenični otpor spomenutog kondenzatora bit će naime kod nižih frekvencija veći. Kako je kod otpornog pojačala anodni izmjenični napon u fazi uvijek protivan izmjeničnom naponu rešetke iste elektronke (vidi odsjek 48), djelovat će reakcija anodnog kruga izlazne elektronke na elektronku u stupnju pred njom (pojačalo sa dva stupnja) uvijek negativno, to jest tako da će slabiti pojačanje. U tom slučaju ne može naravno doći do oscilacija. Ako se međutim povratno djelovanje prenosi na još jedan stupanj dalje (pojačalo sa tri stupnja), bit će reakcija zbog dvokratnog okretanja faze pozitivna pa će pojačanje povećavati, a to će dovesti do osciliranja ili barem do ovisnosti pojačanja o frekvenciji.



Sl. 56.

75. — Da bi se galvanska reakcija izbjegla, potrebno je anodne izmjenične struje najkraćim putem dovesti k negativnom polu izvora struje. To se radi tako da se upotrebe gore spomenuti elementi za sprečavanje povratne veze. Sam kondenzator u većini slučajeva ne zadovoljava, jer bi za to bio potreban kondenzator s vrlo velikim kapacitetom. Radi toga se upotrebljavaju filtri s otporima koje

smo u odsjeku 31. već spomenuli i proračunavali. Izmjenične struje iz anodnog kruga elektronke V_2 (sl. 56) odvode se najvećim dijelom k negativnom polu izvora struje i katodi elektronke V_2 preko kondenzatora C_4. Preostali dio izmjenične struje bit će otpornikom R_4 jako prigušen i teći će preko unutarnjeg otpora izvora struje na elektronku V_2. Ovaj preostatak izmjenične struje stvarat će na zajedničkom unutarnjem otporu izvora struje izmjenični pad napona, koji će uslijed filtarskog djelovanja spoja R_3—C_3 u anodnom krugu elektronke V_1 biti praktički bez efekta. Elementi R_3—C_3 i R_4—C_4 djeluju dakle kao *djelitelji napona* i to toliko bolje, što je veća vrijednost otpora R_3 i R_4 prema izmjeničnom otporu kondenzatora C_3 i C_4 kod najnižih tonskih frekvencija, koje dolaze u obzir. U pojačalima s pogonom iz baterija često se ovakvi filtri ispuštaju radi štednje. Kod pojačala s više stupnjeva moraju se ovakvi filtri uvijek ugraditi, ako se želi da pojačalo besprijekorno radi. Za kondenzatore u ovim filtrima uzimaju se ove minimalne vrijednosti: u niskofrekventnim pojačalima 2 μF, u međufrekventnim pojačalima 0,1 μF, u visokofrekventnim pojačalima 0,01 μF. Vrijednost otpora je otprilike 10 do 20% od vrijednosti anodnog otpora R_a. Općenito je pravilo iz prakse da *vremenska konstanta filtra mora biti najmanje 6 puta veća od vremenske konstante rešetkinog kruga* (vidi dio I, odsjek 28), to jest $R \cdot C \geq 6\, R_g \cdot C_g$. Ako je dakle $R_g = 1\,\text{M}\Omega = 10^6\,\Omega$, a $C_g = 20\,000$ pF $= 2 \cdot 10^{-8}$ F, mora $R \cdot C$ biti veće ili jednako $6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8} = 12 \cdot 10^{-2} = 0{,}12$. što znači da će na primjer uz $R = 20\,000\,\Omega$ C biti 6 μF.

76. — Ugradnja ovakvih filtara ima još jednu prednost. Ovakav član djeluje naime istodobno i kao filtar za izglađivanje anodnog istosmjernog napona (vidi odsjek 31). Pomoću njega se smanjuju dakle smetnje iz mreže, odnosno povećava filtriranje napona. Konačno treba napomenuti da se i anodni istosmjerni napon pojedine elektronke ovakvim filtrima snizuje zbog čega otpore filtara ne smijemo uzeti prevelikima, ako ne želimo raditi s preniskim anodnim istosmjernim naponima. S druge je pak strane sniženje anodnog istosmjernog napona često poželjno, kad je napon izvora za pogon elektronki previsok.

Ponavljanje

Prijemnici koji pogonsku struju uzimaju iz rasvjetne mreže dobivaju negativni prednapon za rešetke pojedinih indirektno žarenih elektronki kao pad napona, što ga stvara anodna struja na otporima koji su spojeni u dovod katodi pojedine elektronke. U tom slučaju govorimo o *automatskom prednaponu rešetke*. Kod direktno žarenih katoda primjenjuje se često postupak *poluautomatskog dobivanja prednapona*. I u ovom slučaju nastaje prednapon kao pad napona na katodnom otporu, kroz koji međutim teče anodna struja *svih* elektronki u prijemniku. Katodni otpor mora biti uvijek premošten dovoljno velikim kondenzatorom. Da bi se izbjegla *galvanska povratna veza* do koje dolazi zbog povratnog djelovanja izlaznog izmjeničnog napona na ostale elektronke preko zajedničkog izvora struje kod višestepenih pojačala, moraju se u anodne krugove staviti filtri. Najčešće se

upotrebljavaju spojevi kapaciteta i otpora, a njihova vremenska konstanta $R \cdot C$ mora da bude najmanje 6 puta veća od vremenske konstante $R_g \cdot C_g$ kruga rešetke. Ovi filtri smanjuju istodobno i brujanje iz mreže.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se dobiva automatski prednapon za rešetku? *Odgovor:* Kod indirektno žarenih katoda nalazi se u dovodu prema katodi otpor, kod kojeg na krajevima nastaje razlika potencijala uzrokovana prolazom anodne struje kroz taj otpor. Pad napona na ovome otporu predstavlja negativni prednapon u slučaju da je odvodni otpor rešetke vezan za minus-pol izvora struje. — *P.:* Razjasni postupak kod poluautomatskog dobivanja prednapona! *O.:* Ovaj dolazi u obzir samo kod elektronki s direktno žarenom katodom. Kroz katodni otpor teče u ovom slučaju suma anodnih struja svih elektronki, i ova struja uzrokuje pad napona na otporu. — *P.:* Na što je potrebno u oba slučaja paziti? *O.:* Katodni otpori moraju biti premošteni velikim kondenzatorima. — *P.:* Što razumijevamo pod galvanskom povratnom vezom? *O.:* Do ove veze dolazi tako što izmjenični napon izlaznog stupnja kod višestepenih pojačala djeluje preko zajedničkog unutarnjeg otpora izvora struje na ulazne stupnjeve pojačala. — *P.:* Kakve mogu biti posljedice toga djelovanja? *O.:* Može doći do niskofrekventnih samooscilacija ili se može dobiti znatno smanjeno pojačanje. — *P.:* Kako se može ova pojava izbjeći? *O.:* Tako da se u anodne krugove ukopčaju filtri protiv povratne veze. — *P.:* Kakvi su ti filtri? *O.:* Spojevi kapaciteta i otpora. — *P.:* Kako se moraju odabrati vrijednosti kapaciteta i otpora? *O.:* Produkt $R \cdot C$, dakle vremenska konstanta toga filtra, mora biti bar 6 puta veća od vremenske konstante $R_g \cdot C_g$ kruga rešetke.

Pitanja

35. Zašto kod otpornog pojačala ne smijemo uzeti prevelik anodni otpor?

36. Kako se izračunava prednapon u slučaju automatskog i poluautomatskog dobivanja prednapona?

37. Kakav utjecaj ima broj stupnjeva otpornog pojačala na galvansku povratnu vezu?

38. Kakvo je djelovanje filtra protiv povratne veze u pojačalu?

Zadaci

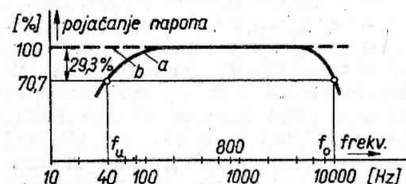
25. Na koji se način mora spojiti anodna baterija i baterija za žarenje otpornog pojačala na sl. 52, ako oba prednapona rešetke želimo dobivati iz anodne baterije?

26. Izlazna pentoda ima u pogonskom stanju anodnu struju 36 mA i struju zaštitne rešetke 5 mA. Koliki mora da bude katodni otpor, ako je potrebno dobiti negativni prednapon rešetke od —6 V?

27. U otpornom pojačalu radi trioda s naponom izvora struje od 300 V i anodnom strujom od 0,8 mA. Anodni otpor je 0,2 MΩ, odvodni otpor rešetke 0,7 MΩ, a kondenzator za vezu 20 000 pF: a) koliki mora da bude katodni otpor za prednapon od —4 V, b) koliko se povećava filtarsko djelovanje mrežnog dijela upotrebom filtra za sprečavanje povratne veze sastavljenog od otpora s vrijednošću od 30 kΩ i kondenzatora kapaciteta 8 μF kod frekvencije od 100 Hz, c) za koliko se volta snizuje anodni istosmjerni napon uslijed ovog filtra, d) koliki je anodni istosmjerni napon, e) da li je filtar dovoljan s obzirom na galvansku povratnu vezu?

Frekventne karakteristike otpornog pojačala

77. — Niskofrekventno pojačalo mora jednolično pojačavati čitavo područje tonskih frekvencija. To je moguće postići samo onda, ako je vanjski radni otpor elektronke neovisan o frekvenciji. U praksi međutim imamo uvijek manje ili veće zapostavljenje pojedinih područja frekvencija, u prvom redu područje dubokih i područje visokih tonova. U tom slučaju govorimo o *izobličenju frekvencija* ili *linearnom izobličenju*. Uobičajeno je da se govori o *graničnoj frekvenciji*, pod kojom se razumijeva frekvencija kod koje naponsko pojačanje spadne na $\sqrt{2}$-ti dio to jest na 70,7% naponskog pojačanja kod frekvencije 800 Hz (srednja tonska frekvencija). Pri tome razlikujemo *donju graničnu frekvenciju* f_u *i gornju graničnu frekvenciju* f_o. Na sl. 57. vidimo krivulju pojačanja *a* niskofrekventnog pojačala s graničnim frekvencijama f_u = 40 Hz i f_o = 10 000 Hz a isto tako i frekventnu krivulju *b* pojačala bez linearnog izobličenja.



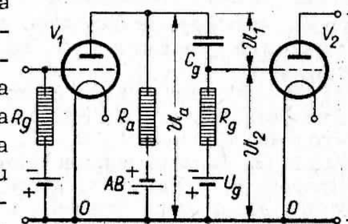
Sl. 57.

78. — Kod otpornog pojačala odlučuje o naponskom pojačanju na nižim frekvencijama naročito kondenzator za vezu C_g (vidi sl. 52 i 56). Prema odsjeku 69. nastaje naime na kondenzatoru C_g i odvodnom otporu rešetke R_g dijeljenje anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$. To se lijepo vidi na sl. 58. u vezi sa sl. 52. Odmah primjećujemo da na rešetku slijedeće elektronke ne dolazi čitav izmjenični anodni napon $\mathfrak{U}_a$, nego samo dio izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_2$. Na kondenzatoru C_g imamo gubitak izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_1$, koji je to veći, što je niža frekvencija. Ako je odvodni otpor rešetke jednako velik kao kapacitivni otpor kondenzatora za vezu, dakle $R_g = 1/(\omega C_g)$, tada je $\mathfrak{U}_2 = \mathfrak{U}_1$. Prema općem Ohmovom zakonu i jedn. (27) iz dijela I vrijedi:

$$\frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_a} = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + \frac{1}{\omega C_g}}} = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + R_g^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$$

to jest izmjenični napon $\mathfrak{U}_2$ iznosi još samo 70,7% izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$. Drugačije izraženo: Kod otpornog pojačala je donja granična frekvencija jednaka frekvenciji kod koje je kapacitivni otpor kondenzatora za vezu jednak odvodnom otporu rešetke. Prema tome treba zahtijevati da za najniže frekvencije, koje treba prenositi, C_g bude barem jednako $1/(\omega_u R_g)$ [F]. Tako na primjer za R_g = 1 MΩ = 10^6 Ω i f_u = 40 Hz mora da bude: $C_g = 1/2\pi \cdot 40 \cdot 16^6) = 10^{-6}/(80\pi)$ [F] = $10^6/(80\pi)$ [pF] = 4 000 pF. Ako gubitak izmjeničnog napona po stupnju kod najniže frekvencije f_t ne smije da bude veći od 5% (mjesto 29,3% kao prije) onda jednostavan

način pokazuje da mora da bude $C_g = 10^6/(0{,}3\ \omega_t R_g)$ [pF], ako je R_g zadan u [MΩ]. Općenito međutim treba paziti da vremenska konstanta $T = R_g \cdot C_g$ (vidi dio I, odsjek 28) kruga rešetke ne bude prevelika. Kod velikih vrijednosti C_g i R_g ne može naboj s rešetke dovoljno brzo oteći, pa dolazi do smetnji koje se čuju kao izobličenje, ili do periodskog izostajanja pojačanja. Vremenska konstanta $R_g \cdot C_g$ ne smije po mogućnosti biti veća od 0,03 s (R_g u [Ω], odnosno u [MΩ], a C_g u [F] odnosno u [μF]!). U tom slučaju iznosi gubitak izmjeničnog napona kod frekvencije 50 Hz još samo 1% po svakom stupnju pojačanja.



Sl. 58.

79. — Zapostavljanje dubokih tonova može biti prouzrokovano i premalenim katodnim kondenzatorom C_k kod automatskog i poluautomatskog dobivanja prednapona (vidi odsjeke 72 i 73). Kroz katodni otpor R_k teče naime osim istosmjerne anodne struje i izmjenična anodna struja, koja na njemu stvara izmjenični pad napona. Kako međutim između izmjeničnog napona rešetke i anodnog izmjeničnog napona postoji pomak u fazi od 180° (vidi odsjek 48), djeluju oba izmjenična napona jedan protiv drugoga, tako da se djelotvorni izmjenični napon na rešetki (napon između rešetke i negativnog kraja R_k na sl. 54 i 55) smanjuje za izmjenični pad napona na otporu R_k. Radi se dakle o povratnoj vezi koja smanjuje pojačanje (»negativna povratna veza«). Zadatak katodnog kondenzatoga C_k je, da anodnu izmjeničnu struju odvodi mimo katodnog otpora R_k, i mora prema tome imati u poređenju sa R_k što manji otpor za izmjeničnu struju. U praksi je dovoljno da otpor izmjeničnoj struji kondenzatora C_k kod frekvencije od 30 Hz bude jednak 1/10 otpora R_k, dakle: $1/(2\pi \cdot 30 \cdot C_k) = R_k/10$ ili $R_k \cdot C_k = 1/(6\pi) = 0{,}053$. Vremenska konstanta $R_k \cdot C_k$ mora dakle iznositi najmanje 0,053 s. Za pojačala s više stupnjeva, a naročito za televizijska pojačala, mora vremenska konstanta biti još veća. Općenito vrijedi: $C_k = 0{,}053/R_k$ [F] ili:

$$\boxed{C_k = \frac{53\,000}{R_k}\ [\mu F]} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (34)$$

Za R_i = 1 000 Ω imamo na primjer C_k = 53 μF, dok bismo za R_k = 200 Ω imali već vrlo veliku vrijednost: C_k = 265 μF. Zbog potrebe ovako velikih kapaciteta upotrebljavaju se elektrolitski kondenzatori (vidi dio I odsjeke 59 i 60). Isto uostalom vrijedi i za kondenzatore u filtrima za sprečavanje povratne veze (C_3 i C_4 na sl. 56); njihov kapacitet treba da bude oko 10 μF.

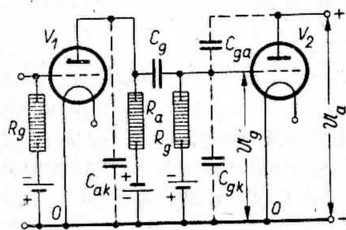
Ponavljanje

Niskofrekventno pojačalo mora po mogućnosti da jednoliko pojačava sve frekvencije iz tonskog područja, mora dakle da radi bez izobličenja frekvencija (bez linearnog izobličenja). U stvari imamo međutim gornju i donju graničnu frekvenciju, kod koje je naponsko pojačanje još samo $\sqrt{2}$, odnosno 70,7% od naponskog pojačanja kod frekvencije 800 Hz. Ako gubici izmjeničnog napona po stupnju pojačanja ne smiju iznositi više od 30% kod najniže frekvencije koju želimo prenositi, smije kapacitivni otpor kondenzatora za vezu C_g biti najviše jednak odvodnom otporu rešetke R_g. Vremenska konstanta $R_g \cdot C_g$ kruga rešetke ne smije da bude veća od 0,03 s. Da bi se izbjeglo suvišno slabljenje najnižih frekvencija katodnim otporom R_k i katodnim kondenzatorom C_k kod automatskog dobivanja prednapona, mora vremenska konstanta $R_k \cdot C_k$ biti najmanje 0,053 s.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod izobličenjem frekvencija ili linearnim izobličenjem? *Odgovor:* Nejednolično naponsko pojačanje pojedinih područja frekvencija. — *P.:* Kako se označuje širina područja frekvencija, koje se jednolično pojačava? *O.:* Gornjom i donjom graničnom frekvencijom. — *P.:* Što označuju ove frekvencije? *O.:* Najnižu, odnosno najvišu frekvenciju, kod koje naponsko pojačanje spadne na 70,7% naponskog pojačanja kod frekvencije 800 Hz. — *P.:* Čime može biti prouzročeno zapostavljanje nižih frekvencija kod otpornih pojačala? *O.:* Premalenim kondenzatorom za vezu u krugu rešetke i premalenim kondenzatorom u katodi kod automatskog dobivanja prednapona, a isto tako i premalenim kondenzatorom u filtru za sprečavanje povratne veze. — *P.:* Koji najmanji kapacitet smije imati kondenzator za vezu? *O.:* Njegov kapacitivni otpor kod najnižih frekvencija koje se prenose smije biti najviše jednak odvodnom otporu. — *P.:* Koliki se mora odabrati katodni kondenzator? *O.:* Toliki, da vremenska konstanta $R_k \cdot C_k$ bude najmanje 0,053 s.

80. — Gornja granična frekvencija f_o otpornog pojačala (vidi odsjek 77) određena je *paralelnim kapacitetima*. Ovdje se u prvom redu radi o unutarnjem kapacitetu *elektronke* (vidi dio I, odsjek 275). Najvažniji je od njih *kapacitet anoda-katoda* C_{ak} elektronke V_1 (sl. 59), koji je spojen paralelno anodnom otporu R_a. Istom otporu spojen je paralelno i *kapacitet rešetka-katoda* C_{gk}. Naročito značenje ima dalje *kapacitet* C_{ga} između *anode i rešetke* elektronke V_2. Kako između anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$ i izmjeničnog napona rešetke $\mathfrak{U}_g$ kod čistog omskog opterećenja elektronke postoji fazni pomak od 180° (vidi odsjek 48), imamo na krajevima C_{ga} izmjenični napon $(\mathfrak{U}_g—\mathfrak{U}_a)$. Kroz kondenzator C_{ga} teče dakle, prema jedn. (24) iz dijela I, struja nabijanja $\mathfrak{J}_c = \omega C_{ga} \cdot (\mathfrak{U}_g—\mathfrak{U}_a)$. Kako je $\mathfrak{U}_a = -V_u \cdot \mathfrak{U}_g$ (prema jedn. (26) uzevši u obzir fazne odnose, dakle predznak minus napona $\mathfrak{U}_a$), imamo: $\mathfrak{J}_c = \omega C_{ga} (\mathfrak{U}_g + V_u \cdot \mathfrak{U}_g) = \omega C_{ga} (1 + V_u) \mathfrak{U}_g$. Kondenzator C_{ga} ponaša se prema tome jednako kao kondenzator kapaciteta C_{ga} $(1 + V_u)$, na kojem postoji napon $\mathfrak{U}_g$. Kapacitet anoda-rešetka djeluje dakle kod omskog anodnog otpora kao kapacitet u krugu rešetke $C_{ga}+V_u$)! Ako je na primjer $C_{ga}=2$ pF, a $V_u=20$, imamo u krugu rešetke prividni kapacitet $2\,(1+20) = 42$ pF! Iz toga vidimo kako je važno da kapacitet anoda-rešetka bude što manji, pa su u tom pogledu pentode zbog malenog kapaciteta anoda-rešetka naročito povoljne (vid dio I, odsjek 275).

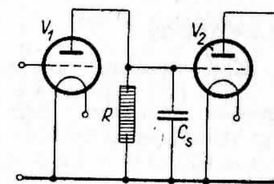


Sl. 59.

81. — Paralelno anodnom otporu R_a ne nalaze se međutim samo kapaciteti C_{ak}, C_{gk} i C_{ga} $(1 + V_u)$, nego i neizbježivi kapaciteti spojeva C_s, dakle suma kapaciteta podnožja elektronke i ostalih dijelova i spojeva prema katodi. Svi ovi kapaciteti zajedno tvore štetni kapacitet $C_š$ (za triodu):

$$C_š = C_s + C_{gk} + C_{ak} + C_{ga}(1 + V_u) \quad \ldots (35)$$

$C_š$ može i u najpovoljnijem slučaju biti jedva manji od 30 pF po svakom stupnju pojačala, ali može poprimiti i vrijednost preko 100 pF. Za $C_š = 30\text{ pF} = 3 \cdot 10^{-11}$ F i $f = 10\,000$ Hz imamo otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_{Cš} = 1/(\omega C_š) = 1/(2\pi \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 10^{-11}) \approx 530\,000\ \Omega = 0{,}53\ \text{M}\Omega$. Za ovu frekvenciju ne bi dakle imalo smisla uzimati anodni otpor R_a znatno veći od 0,5 MΩ, jer bi veći anodni otpor kod viših frekvencija bio znatno smanjen paralelnim otporom $\mathfrak{R}_{Cš}$, pa bi tako i naponsko pojačanje u odgovarajućoj mjeri bilo niže. No kako se paralelno anodnom otporu R_a nalazi i odvodni otpor rešetke R_g, možemo reći: Kod otpornog pojačala je gornja granična frekvencija jednaka frekvenciji, kod koje je kapacitivni otpor štetnih kapaciteta jednak otporu paralelnog spoja otpora R_a i R_g i unutarnjeg otpora R_i. U ovom slučaju iznosi smanjenje naponskog pojačanja za gornju graničnu frekvenciju 29,3%, dakle okruglo 30% po svakom stupnju pojačala. Uz $R = R_a \cdot R_g/(R_a + R_g)$ (aktivni anodni otpor) imamo dakle zahtjev: $R \leq 1/\omega_o \cdot C_š)$ [Ω].



Sl. 60.

Ako gubitak pojačanja za najviše tonove koje prenosimo ne smije da iznosi više od 5% po stupnju pojačala, dobivamo da mora biti ispunjen uvjet: $R \approx 1/(3\,\omega_h \cdot C_š)$ [Ω]. Konačno na sl. 60. vidimo shemu otpornog pojačala nacrtanu obzirom na izmjeničnu struju i na visoke frekvencije. Anodna baterija i baterija za prednapon su ispuštene, jer one ne predstavljaju nikakav naročiti otpor izmjeničnoj struji. Zbog istog razloga ispušten je i kondenzator C_g u krugu rešetke. Kondenzator $C_š$ predstavlja štetne kapacitete i paralelno je spojen aktivnom anodnom otporu R.

82 — Kako je već u odsjeku 71. rečeno, mora odvodni otpor R_g biti što veći u usporedbi s anodnim otporom R_a, kako bi naponsko pojačanje ostalo dovoljno veliko. No veličinu odvodnog otpora ograničuju negativne struje rešetke. Može se naime desiti da elektronka sadržava neznatne ostatke plinova, koji se pod utjecajem anodnog napona ioniziraju. Ovako nastali pozitivni ioni idu na negativnu rešetku uzrokujući ionsku struju rešetke, odnosno pad napona na odvodnom otporu, koji je protivan negativnom prednaponu. Uslijed toga postaje prednapon manji, te može doći do preopterećenja elektronke, ako se ne radi s automatskim prednaponom. Dalje se može desiti da se rešetka katode toliko zagrije da i ona počne emitirati elektrone. Elektronska struja uzrokovana ovom »termičkom emisijom« teče k pozitivnoj katodi vraćajući se preko odvodnog otpora, radi čega se također smanjuje negativni prednapon rešetke. Konačno može doći i do izolacione struje između anode i rešetke. Anodni istosmjerni napon uzrokuje naime struju preko vrlo velikog izolacionog otpora između izvoda anode i rešetke. Ova struja, iako male vrijednosti, može na velikom odvodnom otporu uzrokovati znatan pad napona, pa se i radi ovoga negativni prednapon smanji. Kod izolacionog otpora od 500 MΩ može ovo smanjenje iznositi 1 V. Što je veći odvodni otpor rešetke, to jače dolaze do izražaja nepoželjna djelovanja svih ovih štetnih struja. Odvodni otpor ne smije prema tome imati veću vrijednost od one koja je za dotičnu elektronku dopuštena kao maksimalna. Ista razlaganja vrijede uostalom i za kondenzator C_g u krugu rešetke. Ako naime njegov izolacioni otpor nije dovoljno velik, teče preko odvodnog otpora rešetke dobar dio anodne struje i smanjuje negativni napon rešetke.

Ponavljanje

Kod otpornog pojačala stvaraju kapacitet elektronke i kapaciteti spojeva i spojnih elemenata štetni kapacitet paralelan anodnom otporu. Uslijed njega ograničuje se prema gore područje frekvencija, koje se mogu prenositi. Kapacitet anoda-rešetka C_{ga} djeluje pri tome kao kapacitet $C_{ga} \cdot (1 + V_u)$ u krugu rešetke. Gornja granična frekvencija otpornog pojačala je frekvencija kod koje je kapacitivni otpor štetnih kapaciteta jednak aktivnom anodnom otporu. Naponsko pojačanje iznosi tada po svakom stupnju samo još 70,7% od naponskog pojačanja kod frekvencije 800 Hz. Odvodni otpor ne smije biti veći od propisane maksimalne vrijednosti. U protivnom slučaju smanjuje se negativni prednapon rešetke uslijed negativnih struja rešetke. Ove struje uzrokuje nedovoljan vakuum u elektronki, manjkava izolacija i termička emisija rešetke.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod unutarnjim kapacitetima elektronke? *Odgovor:* Kapacitete kondenzatora, što ih tvore pojedine elektrode elektronke. — *P.:* Koje smo kapacitete ove vrste upoznali? *O.:* Kapacitet anoda-katoda, kapacitet rešetka-katoda, kapacitet rešetka-anoda. — *P.:* Kako djeluje kapacitet anoda-rešetka u krugu rešetke otpornog pojačala? *O.:* Kao kapacitet veličine $C_{ga} \cdot (1 + V_u)$. — *P.:* Koje još kapacitete imamo osim toga u krugu rešetke? *O.:* Kapacitete spojeva. — *P.:* Što

razumijevamo pod štetnim kapacitetima? *O.:* Ukupni kapacitet u krugu rešetke, dakle kapacitet paralelan anodnom otporu i odvodnom otporu. — *P.:* Što je gornja granična frekvencija otpornog pojačala? *O.:* Frekvencija kod koje je kapacitivni otpor štetnih kapaciteta jednak otporu paralelnog spoja R_i, R_a i R_g. — *P.:* Čime je ograničena veličina odvodnog otpora? *O.:* Negativnim strujama rešetke.

Pitanja

39. Koji faktori ograničuju frekventno područje otpornog pojačala?
40. Koliki je štetni kapacitet jednog stupnja otpornog pojačala?
41. Kako nastaju negativne struje rešetke?

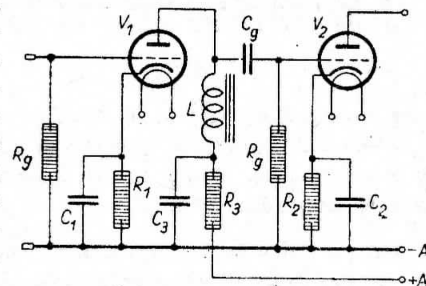
Zadaci

28. Otporno pojačalo radi sa jednom triodom uz ove uvjete: unutarnji otpor elektronke 20 kΩ, anodni otpor 0,1 MΩ, prohvat 3,3%, odvodni otpor 1 MΩ. Koliko je: a) naponsko pojačanje, b) koliki mora da bude kondenzator za vezu u krugu rešetke kod donje granične frekvencije 30 Hz, c) koliki smije biti štetni kapacitet za gornju graničnu frekvenciju 10 kHz, d) koliki mora da bude katodni kondenzator, ako je katodni otpor za automatsko dobivanje prednapona 3 kΩ?

29. Najviša frekvencija, koju jedno otporno pojačalo mora da prenosi, iznosi 10 kHz, a oslabljenje ne smije pri tome biti veće od 5% po stupnju pojačala. Koliki je: a) štetni kapacitet, ako je kapacitet spojeva 20 pF, kapacitet rešetka-katoda 5 pF, anoda-katoda 4,5 pF, anoda-rešetka 1,7 pF, a naponsko pojačanje 20; b) koliki smije biti najveći aktivni anodni otpor; c) koju maksimalnu vrijednost ne smije anodni otpor prekoračiti, ako je odvodni otpor 0,8 MΩ?

Niskofrekventno pojačalo s prigušnicom

83. — Ako se veza između dva stupnja niskofrekventnog pojačala ne izvodi pomoću omskog anodnog otpora, nego pomoću *niskofrekventne prigušnice L* (vidi dio I, sl. 38), dobit ćemo pojačalo s vezom pomoću prigušnice, odnosno pojačalo s prigušnicom (sl. 61). U načelu podudara se ovaj spoj potpuno sa spojem pojačala s otporom (s otpornim pojačalom, usporedi sl. 56). Anodna izmjenična struja uzrokuje na otporu $\mathfrak{R}_a$ prigušnice to veći izmjenični napon, što je veći induktivitet L prigušnice. Zbog toga je potrebno da anodni otpor $\mathfrak{R}_a$ bude po mogućnosti što veći. Tako je na primjer za prigušnicu bez omskog otpora (s omskim otporom koji se može zanemariti) i s induktivitetom $L = 100$ H kod srednje frekvencije $f = 800$ Hz: $\mathfrak{R}_a = \omega L = 2\pi \cdot 800 \cdot 100 \approx 503\,000\ \Omega = 0{,}5$ MΩ.



Sl. 61.

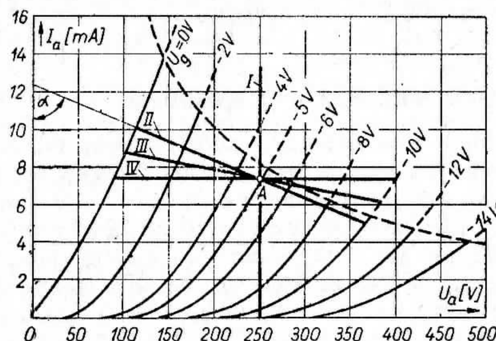
Budući da otpor za istosmjernu struju neke prigušnice iznosi možda tek nekoliko hiljada oma, gubitak istosmjernog napona uzrokovan anodnom istosmjernom strujom vrlo je malen. Uslijed toga je

anodni istosmjerni napon tek nešto manji od napona baterije (nasuprot otpornom pojačalu), te ni kod niskih napona baterije (na primjer kod putnih radioaparata) ne dolazi do nepoželjnog pomaka radne tačke. Veza pomoću prigušnice dolazi u obzir uglavnom kod *pentoda*, budući da tu treba $\mathfrak{R}_a$ učiniti vrlo velikim, a da istosmjerni anodni napon unatoč tome ostane velik (usporedi odsjek 59).

84. — Ima li prigušnica omski otpor R, bit će $\mathfrak{R}_a = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ i nadalje $R_i + \mathfrak{R}_a = \sqrt{(R_i + R)^2 + (\omega L)^2}$ (vidi odsjek 53). Prema jedn. (26) dobit ćemo dakle za pojačanje:

$$V_u = \frac{1}{D}\sqrt{\frac{R^2 + (\omega L)^2}{(R_i + R)^2 + (\omega L)^2}} \quad . \; . \; . \; . \; (36)$$

Ako je R maleno prema ωL, bit će $V_u \approx \frac{1}{D} \cdot \frac{\omega L}{\sqrt{R_i^2 + (\omega L)^2}}$. Kod U_a—I_a-karakteristika i U_g—I_a-karakteristika bit će r a d n a l i n i j a uslijed induktivnog opterećenja predočena elipsom, koja se ipak u većini slučajeva može zamijeniti p r a v c e m (vidi odsjek 49 i sl. 43). Radna linija za neku određenu srednju frekvenciju dobije se tako da se kroz izabranu radnu tačku A položi pravac, za koji je $tg\,\alpha = \mathfrak{R}_a$ (vidi odsjek 43). Na sl. 62. prikazane su tri radne linije i to za $\mathfrak{R}_a = 0{,}05\,M\Omega$, $0{,}1\,M\Omega$ i $1\,M\Omega$, pod pretpostavkom da prigušnica nema omskog otpora. Vidimo da ove radne linije ne počinju, kao kod otpornog pojačala, u tački napona baterije na U_a-osi (vidi sl. 37), nego se ovdje može iskoristiti puni napon baterije od 250 V[6]). Prilikom izbora radne tačke A treba paziti da se ne prekorači dopušteno opterećenje anode (u ovom slučaju 2 W, vidi dio I, odsjek 262). Radne linije nastaju o k r e t a n j e m statičke linije ($\mathfrak{R}_a = 0$) oko radne tačke A.



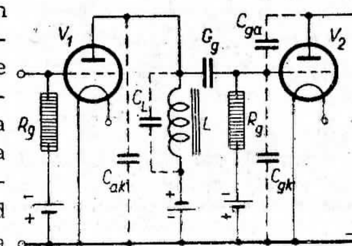
Sl. 62.

85. — Pojačalo s prigušnicom pokazuje istu o v i s n o s t o f r e k v e n c i j i kao i otporno pojačalo (vidi poglavlje o otpornom pojačalu). Do zapostavljanja d u b o k i h tonova dolazi ovdje iz dva razloga: uslijed

[6]) Pri tome je pretpostavljeno da u anodnom krugu ne leži nikakav drugi otpor (na primjer zaporni otpor za sprečavanje reakcije).

kondenzatora za vezu C_g u rešetkinom krugu, i uslijed induktivnog anodnog otpora $\mathfrak{R}_a = \omega L$, jer ωL postaje s nižom frekvencijom sve manji i konačno nije više dovoljno velik obzirom na unutarnji otpor elektronke R_i. Pretpostavimo li da je C_g dovoljno velik (vidi odsjek 78) d o n j a ć e g r a n i č n a f r e k v e n c i j a f_d p o j a č a l a s p r i g u š n i c o m b i t i j e d n a k a f r e k v e n c i j i k o d k o j e j e $R_i = \omega_d \cdot L = 2\pi \cdot f_d \cdot L$. Za $f_d = 40$ Hz i $L = 100$ H ne smije dakle R_i biti veće od $2\pi \cdot 40 \cdot 100 = 25\,100\,\Omega = 25{,}1\,k\Omega$, da faktor pojačanja za ovu frekvenciju ne bi spao za više od 30% (vidi odsjek 77). Prigušnica treba da ima induktivitet po mogućnosti od nekoliko stotina henrija. Pri tome se valja podsjetiti da je induktivitet prigušnice ovisan i o njenom opterećenju istosmjernom strujom (vidi odsjek 28).

86. — *Gornja granična frekvencija* f_o određena je i ovdje paralelnim kapacitetom, dakle štetnim kapacitetom $C_š$ (vidi odsjeke 80 i 81). Kod pojačala s prigušnicom povisuje se kapacitet spoja C_s (spojni kapacitet) za vrijednost v l a s t i t o g k a p a c i t e t a prigušnice C_L (sl. 63, vidi također sl. 59 i dio I, odsjek 46). Osim toga ovdje nastaje ta pojava, da zbog toga što štetni kapacitet $C_š$ leži paralelno prigušnici L, može doći do *paralelne rezonancije* na titrajnom krugu sastavljenom od L i $C_š$. Rezonantna frekvencije f_r dana je jednadžbom (54) iz dijela I, odsjek 101: $f_r = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C_š})$. Anodni otpor $\mathfrak{R}_a$ poprima kod rezonantne frekvencije f_r vrlo veliku vrijednost (vidi dio I, odsjek 106), tako da pojačanje unatoč štetnom kapacitetu kod visokih tonova ne opada. Prenaglo opadanje pojačanja iznad rezonantne frekvencije može se spriječit povećanjem omskog otpora prigušnice. Iz rečenoga slijedi da je pojačalo s prigušnicom s obzirom na frekventnu karakteristiku mnogo osjetljivije nego otporno pojačalo. Uslijed toga, kao i uslijed veće osjetljivosti na smetnje, upotrebljava se pojačalo s prigušnicom razmjerno rijetko.



Sl. 63.

Ponavljanje

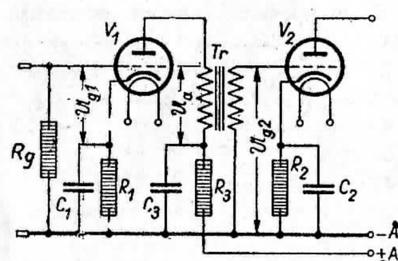
U p o j a č a l u s p r i g u š n i c o m izvodi se veza između dva stupnja pomoću niskofrekventne prigušnice, koja treba da ima što veći induktivitet. Spoj ovog pojačala podudara se u načelu sa spojem otpornog pojačala. Anodni istosmjerni napon uslijed razmjerno malenog otpora prigušnice za istosmjernu struju gotovo je jednak naponu baterije. Zato je moguće postići veliko pojačanje i uz niski napon baterije. O v i s n o s t o f r e k v e n c i j i veća je kod pojačala s prigušnicom nego kod otpornog pojačala. Induktivni otpor prigušnice mora kod d o n j e granične frekvencije biti barem tako velik kao što je unutarnji otpor elektronke. Uslijed paralelnog kapaciteta dolazi do slabljenja v i s o k i h frekvencija. To se može spriječiti tako da za visoke tonove induktivitet prigušnice sa štetnim kapacitetom čini paralelni rezonantni krug.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Po čemu se razlikuju spojevi pojačala s prigušnicom od otpornog pojačala? *Odgovor:* Samo po tome što se kod pojačala s prigušnicom u anodnom krugu umjesto otpora nalazi niskofrekventna prigušnica. — *P.:* Koju prednost ima upotreba prigušnice? *O.:* Uslijed malenog otpora za istosmjernu struju kod niskofrekventne prigušnice anodni istosmjerni napon je samo nešto manji od napona baterije. Osim toga mogu se lako postići vrlo veliki anodni otpori za izmjeničnu struju. — *P.:* Kakav utjecaj ima ovo na položaj radne linije kod U_a—I_a-karakteristike? *O.:* Radna linija ne počinje više, kao kod otpornog pojačala, u tački napona baterije na U_a-osi. — *P.:* Koji uvjet treba ispuniti za donju graničnu frekvenciju? *O.:* Unutarnji otpor elektronke ne smije biti veći od induktivnog otpora prigušnice. — *P.:* Čime je određena gornja granična frekvencija pojačala s prigušnicom? *O.:* Paralelnim kapacitetom (štetnim kapacitetom). — *P.:* Kojom se pojavom može spriječiti prerano opadanje pojačanja kod visokih frekvencija? *O.:* Paralelnom rezonancijom u titrajnom krugu, koji čini induktivitet prigušnice sa štetnim kapacitetom

Niskofrekventno pojačalo s transformatorom

87 — Zamijenimo li prigušnicu L u pojačalu s prigušnicom na sl. 61 nekim *niskofrekventnim transformatorom* T_r (nazvanim također *tonfrekventni transformator* ili *međutransformator*)[7]), dobit ćemo p o j a č a l o s t r a n s f o r m a t o r s k o m v e z o m, odnosno p o j a č a l o s t r a n s f o r m a t o r o m (sl. 64). Budući da je ulazni namotaj transformatora odijeljen od izlaznog namotaja, ne može anodni istosmjerni napon elektronke V_1 dospjeti na rešetku elektronke V_2. Ovdje dakle nije potreban kondenzator za vezu C_g i rešetkin odvodni otpor R_g. U svemu ostalom podudara se spoj na sl. 64. sa sl. 61. Krugovi $R_1 — C_1$ i $R_2 — C_2$ služe i ovdje za dobivanje automatskog prednapona rešetke, a $R_3 — C_3$ kao zapor protiv reakcije. Upotreba niskofrekventnog transformatora ima tu prednost da se može postići dodatno *povećanje pojačanja*, koje je određeno prijenosnim odnosom transformatora $\ddot{u} = w_1 : w_2$ (vidi odsjek 4). Ako je na primjer $\ddot{u} = 1:4$, bit će izmjenični napon na rešetki $\mathfrak{U}_{g2} = 4\,\mathfrak{U}_a$. Za ukupno pojačanje dobiva se općenito:



Sl. 64.

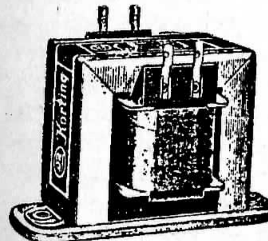
$$V_u = \frac{\mathfrak{U}_{g2}}{\mathfrak{U}_{g1}} = \frac{1}{\ddot{u}} \cdot \frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_a} \quad \ldots (37)$$

Ovdje je $\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_{g1}$ dosada upotrebljavani izraz za pojačanje (vidi odsjek 52). Pod pretpostavkom da imamo u svakom pogledu savršen transformator bez radnog otpora, bit će anodni otpor $\mathfrak{R}_a$ (kao i kod pojačala s prigušnicom) jednak otporu za izmjeničnu struju induktiviteta L_1 ulaznog namotaja. Dakle $\mathfrak{R}_a = \omega L_1$, a prema jedn. (36) i (37) bit će:

[7]) Temeljno djelovanje transformatora upoznali smo u prvom poglavlju (usporedi također opasku na kraju odsjeka 8).

$$V_u = \frac{1}{\ddot{u} \cdot D} \cdot \frac{\omega L_1}{\sqrt{R_i^2 + (\omega L_1)^2}}$$

U stvari ova jednadžba vrijedi samo za frekvencije koje nisu previsoke (ispod 800 Hz). Budući da se L_1, a prema tome i $\mathfrak{R}_a$, zbog raznih razloga (vidi odsjek 90) ne može učiniti po volji velikim, dolazi veza s transformatorom u obzir (nasuprot vezi s prigušnicom) samo kod t r i o d a. Obzirom na anodni istosmjerni napon ima pojačalo s transformatorom iste prednosti kao i pojačalo s prigušnicom (vidi odsjek 83).

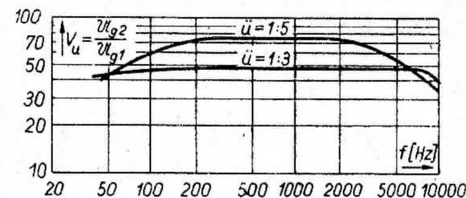


Sl. 65.



Sl. 66.

88. — Niskofrekventni transformator u načelu je građen na isti način kao i jednostavni mrežni transformator. U većini slučajeva upotrebljava se z a t v o r e n oblik željezne jezgre (usporedi slike 1-b) i 7). Na sl. 65. vidimo takav niskofrekventni transformator s priključnicama za lemljenje, dok na sl. 66. vidimo niskofrekventni transformator s metalnim oklopom i s priključnicama u obliku stezaljki. Budući da niskofrekventni transformator (nasuprot mrežnom transformatoru) mora jednoliko prenositi čitavo područje tonskih frekvencija, gubici opisani u odsjecima 9. i 10. dolaze ovdje osobito do izražaja. S obzirom na visoke frekvencije mora željezna jezgra biti *fino* podijeljena (lamelirana; vidi također primjedbu na str. 4) da ne bi gubici od vrtložnih struja bili preveliki. Dobrim niskofrekventnim transformatorom može se, kao što je to na sl. 67 prikazano, prenijeti praktički jednoliko cijelo tonfrekventno područje, ukoliko nije prijenosni odnos $\ddot{u}$ suviše malen. Obje krivulje za $\ddot{u} = 1:3$ i $\ddot{u} = 1:5$ vrijede uz upotrebu triode, koja ima unutarnji otpor 10 do 15 kΩ (usporedi odsjek 64).



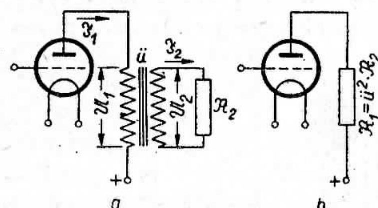
Sl. 67.

89. — Optereti li se transformator nekim otporom potrošača $\mathfrak{R}_2$ (vidi opasku na str. 52), bit će po Ohmovu zakonu $\mathfrak{R}_2 = \mathfrak{U}_2/\mathfrak{J}_2$ (sl. 68-a).

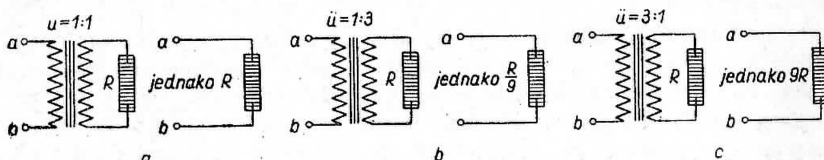
Prema jedn. (3), odnosno (4) bit će $\mathfrak{U}_2 = \mathfrak{U}_1/ü$ i $\mathfrak{J}_2 = ü\,\mathfrak{J}_1$ tako da dobivamo $\mathfrak{R}_2 = \mathfrak{U}_1 / (ü \cdot ü \cdot \mathfrak{J}_1) = (1/ü^2) \cdot (\mathfrak{U}_1/\mathfrak{J}_1)$. Izraz $\mathfrak{U}_1/\mathfrak{J}_1$ predočuje po Ohmovom zakonu stanoviti otpor $\mathfrak{R}_1$, koji možemo zamisliti u ulaznom krugu transformatora, pri čemu je $\mathfrak{R}_2 = (1/ü^2) \cdot \mathfrak{R}_1$ ili:

$$\boxed{\mathfrak{R}_1 = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_2} \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (39)$$

Prema tome vrijedi ovo važno pravilo: *Otpor u izlaznom krugu transformatora djeluje tako kao da je taj isti otpor pomnožen s kvadratom prijenosnog odnosa spojen u ulaznom krugu transformatora, što znači da se bilo kakav otpor* $\mathfrak{R}_2$ *može pomoću savršenog transformatora pretvoriti u otpor* $\mathfrak{R}_1 = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_2$ (sl. 68-b). Dva različita otpora mogu se pomoću transformatora učiniti međusobno jednakima; ovo nazivamo p r i l a g o đ i v a n j e m   o t p o r a. Primjer za to je prilagođivanje niskoomskog dinamičkog zvučnika na unutarnji otpor izlazne elektronke, prilagođivanje



Sl. 68.



Sl. 69.

niskoomskog mikrofona ili zvučnice na veliki otpor rešetkinog kruga ulazne elektronke nekog pojačala itd. Potrebno je samo prijenosni odnos transformatora pravilno odabrati. Prema jedn. (39) mora biti:

$$\boxed{ü = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}_1}{\mathfrak{R}_2}}} \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (40)$$

Na sl. 69. prikazano je nekoliko primjera prilagođivanja za omski otpor R. Za $ü = 1:1$ bit će prilagodni otpor također jednak R (sl. 69-a), za $ü = 1:3$ bit će prilagodni otpor jednak $(1/3)^2 \cdot R = R/9$ (sl. 69-b) i nadalje za $ü = 3:1$ bit će prilagodni otpor jednak $3^2 \cdot R = 9 \cdot R$ (sl. 69-c). Iz ovih primjera jasno razabiremo da se svaka vrijednost otpora može pomoću transformatora s odgovarajućim prijenosom pretvoriti u bilo koji otpor niže ili više vrijednosti. Ovim ćemo se svojstvom transformatora ubuduće često koristiti.

Ponavljanje

U p o j a č a l u   s   t r a n s f o r m a t o r o m izvedena je veza između dva stupnja pojačala pomoću niskofrekventnog transformatora. Kondenzator za vezu, i odvodni otpor rešetke, mogu u ovom slučaju otpasti. Niskofrekventni transformator omogućuje također povišenje ukupnog faktora pojačanja, već prema veličini svog prijenosnog odnosa. Ako se u izlaznom krugu transformatora nalazi otpor $\mathfrak{R}_2$, onda se ovaj otpor na ulazni krug transformatora prenosi u veličini $\mathfrak{R}_1 = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_2$ ($\mathfrak{R}_2$ pomnožen kvadratom prijenosnog odnosa transformatora). Pomoću transformatora može se dakle svaki otpor pretvoriti u bilo koji veći ili manji otpor (p r i l a g o đ i v a n j e   o t p o r a).

Pitanja i odgovori

Pitanje: U čemu se razlikuje transformatorsko pojačalo od pojačala s prigušnicom? *Odgovor:* Kod pojačala s transformatorom izvodi se veza između stupnjeva pomoću niskofrekventnog transformatora. Ovdje nasuprot pojačala s prigušnicom kondenzator za vezu i anodni otpor otpadaju. — *P.:* Koju osobitu prednost ima upotreba niskofrekventnog transformatora? *O.:* Pomoću njega se može postići dodatno povišenje pojačanja u slučaju da je njegov prijenosni odnos manji od 1. — *P.:* Kako se mogu smanjiti gubici od vrtložnih struja u željeznoj jezgri? *O.:* Finom razdiobom željezne jezgre u tanke limove. — *P.:* Kako neki otpor $\mathfrak{R}_2$, koji je spojen u izlazni krug, djeluje na ulazni krug transformatora? *O.:* Kao otpor $\mathfrak{R}_1 = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_2$, to jest kao otpor $\mathfrak{R}_2$ pomnožen kvadratom prijenosnog odnosa. — *P.:* Koje je praktično značenje ove činjenice? *O.:* Pomoću transformatora mogu se različiti otpori izjednačiti. — *P.:* Kako nazivamo tu pojavu? *O.:* Prilagođivanjem otpora. — *P.:* Kako neki otpor $\mathfrak{R}_1$ spojen u ulaznom krugu transformatora djeluje na njegov izlazni krug? *O.:* Kao otpor veličine $\mathfrak{R}_2 = \dfrac{\mathfrak{R}_1}{ü^2}$.

Pitanja

42. Na što treba paziti pri izboru prigušnice kod pojačala s prigušnicom?

43. Zašto se u niskofrekventnom pojačalu s transformatorom ne upotrebljavaju pentode?

44. Kako velik treba da bude prijenosni odnos transformatora, ako neki otpor $\mathfrak{R}_2$ u izlaznom krugu mora da djeluje kao otpor $\mathfrak{R}_1$ u ulaznom krugu?

Zadaci

30. U anodnom krugu elektronke s unutarnjim otporom 50 kΩ nekog niskofrekventnog pojačala spojena je prigušnica:

a) Kako velik mora da bude induktivitet prigušnice, ako donja granična frekvencija treba da bude 50 Hz?

b) Kolika je rezonantna frekvencija prigušnice uz štetni kapacitet od 30 pF?

31. Dvostepeno transformatorsko pojačalo radi s dvije triode. Unutarnji otpor triode je 16 kΩ, a faktor pojačanja je 30. Koliko je pojačanje ovog pojačala kod frekvencije od 50 Hz, ako svaki od niskofrekventnih transformatora ima prijenosni odnos 1 : 3 i ulazni induktivitet od 80 H?

32. Titrajna zavojnica nekog dinamičkog zvučnika ima impedanciju 5 Ω, koju treba pretvoriti u prilagodni otpor od 2 300 Ω. Kako se to može učiniti?

33. Dinamički mikrofon s otporom vrpce od 0,4 Ω treba pomoću mikrofonskog transformatora prilagoditi otporu od 0,1 MΩ rešetkinog kruga ulazne elektronke mikrofonskog pojačala. Kakav treba da bude prijenosni odnos transformatora?

Ovisnost o frekvenciji transformatorskog pojačala

90. — *Donja granična frekvencija* f_d pojačala s transformatorom je ona frekvencija (kao i kod pojačala s prigušnicom, vidi odsjek 85), kod koje je induktivni otpor ulaznog namotaja transformatora L_1 jednak unutarnjem otporu R_i elektronke ispred transformatora. Mora dakle biti zadovoljen uvjet da bude $R_i \leqq \omega_d \cdot L_1 \leqq 2\pi \cdot f_d \cdot L_1$. Zbog toga mora biti induktivitet L_1 što veći. Ovaj uvjet je ovdje teže ispuniti nego kod pojačala s prigušnicom. Broj zavoja ulaznog namotaja w_1 ne može se učiniti po volji velikim, jer tada i izlazni namotaj mora da ima odgovarajući povećani broj zavoja w_2. Velik broj zavoja w_2 uvjetuje i prilično velik prostor za namatanje (promjer žice oko 0,1 mm) i time također velik vlastiti kapacitet namotaja, koji ne smije s obzirom na dobru reprodukciju visokih tonova prekoračiti izvjesnu maksimalnu vrijednost (vidi odsjek 94). Povećanje induktiviteta L_1 može se također postići povećanjem presjeka željezne jezgre F (vidi dio I, jedn. 15), samo što time postaju dimenzije i težina transformatora preveliki, ako se ne upotrebe specijalni limovi s osobito velikom permeabilnošću μ (vidi dio I, odsj. 48, str. 35).

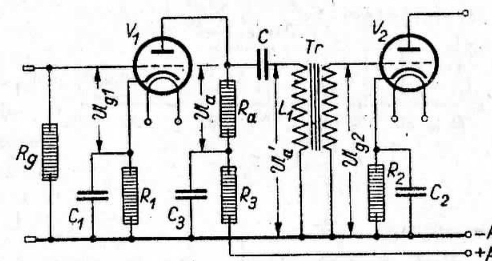
91. — Takvi limovi moraju imati što manje gubitke od histereze i vrtložnih struja, te uz male promjene magnetskog polja velike promjene magnetske indukcije (vidi odsjek 7 i 8). Ove uvjete zadovoljavaju limovi s uskom i s t r m o m petljom histereze (vidi sl. 5). Što je strmija krivulja magnetiziranja u $\mathfrak{B}$—$\mathfrak{H}$-dijagramu (sl. 6) pri polasku od nul-tačke, to veća je p o č e t n a p e r m e a b i l n o s t μ_0. Znatno bolje od visokolegiranog željeza sa silicijem opisanog u odsjeku 8. su legure koje se sastoje od nikla i željeza. Takvi se limovi od nikla i željeza nakon rezanja (štancanja) podvrgavaju još odgovarajućoj toplinskoj obradi. Najpoznatije legure za jezgre niskofrekventnih transformatora su: p e r m a l o j C (78,5% nikla + 18% željeza + 3% molibdena + 0,5% mangana), m u m e t a l (76% nikla + 17% željeza + 5% bakra + 2% kroma) i m e g a p e r m 6510 (65% nikla + 25% željeza + 10% mangana). Njihova se najvažnija magnetska svojstva vide iz ove tablice:

Materijal	μ_0	μ_m	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_m$
Permaloj C	10 000	50 000	4 500	9 000
Mumetal	12 000	45 000	4 000	8 000
Megaperm 6 510	4 800	26 000	2 000	8 500

Pri tome μ_0 označuje početnu permeabilnost, μ_m maksimalnu permeabilnost (na najstrmijem mjestu krivulje magnetiziranja), $\mathfrak{B}$ = magnetska indukcija pri maksimalnoj permeabilnosti, u gausima, $\mathfrak{B}_m$ = magnetska indukcija pri zasićenju, u gausima.

92. — Kako je krivulja magnetiziranja limova od nikalnog željeza vrlo strma, a kasnije se savija u područje zasićenja (vidi sl. 6), može se samo malen dio krivulje smatrati pravocrtnim. Radna tačka transformatora mora ležati u sredini ravnog dijela ove krivulje (slično kao kod karakteristike elektronke) da bi se spriječilo izobličenje induciranih struja. Nadalje ne smije jakost magnetskog polja određena anodnom istosmjernom i izmjeničnom strujom, koja teče kroz ulazni namotaj, biti prevelika, da se radna tačka ne bi pomakla predaleko u područje zasićenja, što bi uzrokovalo jaka izobličenja. Budući da se zasićenje kod navedenih vrsta limova postizava već kod slabih polja, te su vrste limova vrlo osjetljive na istosmjernu i izmjeničnu struju (usporedi opasku u odsjeku 28). Zbog toga treba u i z l a z n o m t r a n s f o r m a t o r u, koji je spojen u anodnom krugu izlazne elektronke niskofrekventnog pojačala i kroz koji protječe jaka anodna struja, upotrebiti željezne limove s malom početnom permeabilnošću (na primjer lim od željeza sa silicijem ili dinamo-lim), čime se dakako povećavaju i gubici u transformatoru[8]).

93. — Mane *»predmagnetiziranja«* željezne jezgre anodnom istosmjernom strujom mogu se otkloniti tako da se anodna istosmjerna struja dovodi preko omskog otpora R_a ili prigušnice, a od ulaznog namotaja L_1 niskofrekventnog transformatora Tr da se odijeli kondenzatorom C (sl. 70). Kroz ulazni namotaj teći će tada preko kondenzatora C samo još tonfrekventna struja. Takav se spoj zbog toga što odjeljuje istosmjernu struju od izmjenične naziva *električkom skretnicom.* Veličina anodnog otpora R_a iznosi prosječno oko 0,1 MΩ. Kako spoj L_1—C čini serijski titrajni krug, može se ovaj iskoristiti za *izdizanje eventualno zapostavljenih niskih frekvencija (»korekcija«).* U slučaju serijske rezonancije kruga L_1 i C (vidi dio I, odsjek 92) bit će $\omega_r \cdot L_1 = 1/(\omega_r \cdot C)$, dakle kad ulazni namotaj nema radnog otpora $\mathfrak{R}_a = \omega_r \cdot L_1 - [1/(\omega_r \cdot C)] = 0$, elektronka V_1 radi u kratkom spoju. Prema jedn. (21) na impedanciji $\omega_r L_1$ anodnom izmjeničnom strujom $\mathfrak{J}_a$ proizvedeni pad izmjeničnog napona bit će: $\mathfrak{U}_a' = \mathfrak{J}_a \cdot \omega_r L_1 = S \cdot \mathfrak{U}_{g1} \cdot \omega_r L_1$. Serijskom rezonancijom i prijenosnim odnosom transformatora povećano pojačanje V_r kod rezonantne kružne frekvencije ω_r bit će prema jedn. (37): $V_r = \mathfrak{U}_{g2}/\mathfrak{U}_{g1} =$



Sl. 70.

[8]) Prerano zasićenje može se spriječiti malom zračnom pukotinom (zračnim rasporom) u željeznoj jezgri. Zračni raspor naime povećava magnetski otpor za silnice.

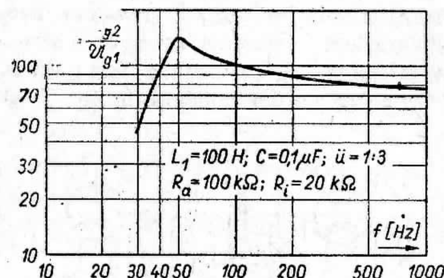
$= (1/ü) \cdot \mathfrak{U}_a'/\mathfrak{U}_{g1} = (1/ü) \cdot S \cdot \mathfrak{U}_{g1} \cdot \omega_r \cdot L_1/\mathfrak{U}_{g1} = (1/ü) \cdot S \cdot \omega_r \cdot L_1$, dakle prema dijelu I, jedn. (92):

$$\boxed{V_r = \frac{1}{ü \cdot D} \cdot \frac{\omega_r \cdot L_1}{R_i}} \quad \ldots\ldots (41)$$

Budući da je pri dovoljno velikom induktivitetu L_1 i s r e d n j o j frekvenciji ($\omega \approx 5\,000$) omski otpor R_a mnogo manji od otpora za izmjeničnu struju ωL_1 *i* $\{\omega L_1 - [1/(\omega C)]\}$ vrijedi približno: $V_u \approx [1/(ü \cdot D)] \cdot R_a/(R_i + R_a)$. Iz toga slijedi, da je o š t r i n a r e z o n a n c i j e: $\varrho = V_r/V_u = [1/(ü \cdot D)] \cdot (\omega_r \cdot L_1/R_i) \cdot ü \cdot D \cdot (R_i + R_a)/R_a = \omega_r \cdot L_1 \cdot (R_i + R_a)/(R_i \cdot R_a)$. Stavimo li $R = R_i \cdot R_a/(R_i + R_a)$ (za $R_a \ll R_i$ bit će $R \approx R_i$), to dobivamo:

$$\boxed{\varrho = \frac{\omega_r \cdot L_1}{R}} \quad \ldots\ldots\ldots (42)$$

Rezonantna kružna frekvencija ω_r treba da bude otprilike jednaka najnižoj prenošenoj kružnoj frekvenciji ω_t, kako bismo postigli dobru reprodukciju donjeg područja tonova. Ako je $\omega_t = \omega_r$ i $R = \omega_t \cdot L_1$, bit će $\varrho = 1$, to jest donja kružna frekvencija ω_t prenijet će se neoslabljeno (vidi također odsjek 101).



Sl. 71.

Na sl. 71. prikazan je primjer ovisnosti faktora pojačanja V_u o frekvenciji f. Vidimo da rezonantna frekvencija iznosi oko 50 Hz, a rezonantno izdizanje prema srednjim frekvencijama je otprilike dvostruko. Ispred rezonantne frekvencije krivulja faktora pojačanja strmo pada.

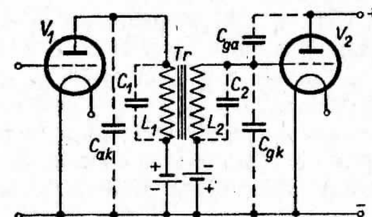
Ponavljanje

Kod d o n j e g r a n i č n e frekvencije transformatorskog pojačala otpor za izmjeničnu struju ulaznog induktiviteta niskofrekventnog transformatora jednak je unutarnjem otporu elektronke. Ulazni induktivitet mora biti s obzirom na nisku donju graničnu frekvenciju što veći. To se može postići velikim brojem zavoja ulaznog namotaja ili velikim presjekom željezne jezgre. Bolje je zbog povećanja ulaznog induktiviteta upotrebiti specijalne željezne limove velike permeabilnosti. Ovi limovi su pretežno l e g u r e n i k l a i ž e l j e z a (na primjer permaloj, mumetal i megaperm), te se odlikuju velikom početnom permeabilnošću i uskom petljom histereze. Anodna struja, koja teče kroz ulazni namotaj, ne smije biti prevelika, jer inače radna tačka ne leži na ravnom dijelu krivulje magnetiziranja. Za izlazne transformatore treba prema tome upotrebiti manje osjetljive željezne limove manje permeabilnosti. Štetno predmagnetiziranje željezne jezgre može se ukloniti ukopčanjem »e l e k t r i č k e s k r e t n i c e« koja se sastoji od kondenzatora i omskog otpora. Odabere li se prikladna vrijednost kondenzatora može se serijska rezonancija ulaznog induktiviteta transformatora i kondenzatora iskoristiti za izdizanje pojačanja pri niskim frekvencijama.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki treba da je ulazni induktivitet niskofrekventnog transformatora? *Odgovor:* Toliki, da njegov unutarnji otpor za izmjeničnu struju kod najnižih frekvencija bude barem jednak unutarnjem otporu prethodne elektronke. — *P.:* Od čega se sastoje željezni limovi kvalitativnog niskofrekventnog transformatora? *O.:* Od legure nikla i željeza, kao što su permaloj, mumetal, megaperm. — *P.:* Koje su prednosti ovih legura? — *O.:* One imaju strme i uske petlje histereze, te veliku početnu permeabilnost. — *P.:* Na što treba paziti kod upotrebe ovakvih transformatora? *O.:* Anodna istosmjerna struja u ulaznom namotaju ne smije biti prevelika. — *P.:* Kako se može izbjeći predmagnetiziranje željezne jezgre? *O.:* Odjeljivanjem anodne istosmjerne struje od ulaznog namotaja pomoću kondenzatora i omskog otpora (»električka skretnica«). — *P.:* Koja je daljnja prednost ovoga spoja? *O.:* Serijskom rezonancijom titrajnog kruga stvorenog od kondenzatora i ulaznog induktiviteta transformatora može se povećati pojačanje dubokih tonova.

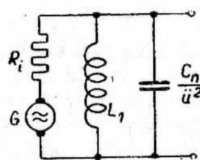
94. — *Gornja granična frekvencija* transformatorskog pojačala ovisna je u prvom redu o štetnom kapacitetu (paralelni kapacitet) $C_š$. Na ulaznoj strani transformatora Tr (sl. 72) sastoji se ukupni paralelni kapacitet, kao i kod pojačala s prigušnicom (vidi odsjek 86), od zbroja kapaciteta između anode i katode C_{ak} elektronke V_1, kapaciteta C_1 ulaznog namotaja L_1 i spojnih kapaciteta C_s. Na izlaznoj strani transformatora sastoji se taj kapacitet od zbroja kapaciteta između rešetke i katode C_{gk}, i kapaciteta anode i rešetke $C_{ga} \cdot (1 + V_u)$ elektronke V_2 (vidi odsjek 80), od kapaciteta C_2 izlaznog namotaja L_2 i spojnih kapaciteta C_s. Označimo li sve paralelne kapacitete na izlaznoj strani transformatora Tr sa C_n, kapacitivni će otpor $1/(\omega \cdot C_n)$ ovog kapaciteta prema jedn. (39) na ulaznoj strani transformatora djelovati kao kapacitivni otpor $ü^2 \cdot [1/(\omega \cdot C_n)]$, dakle također u anodnom krugu elektronke V_1. Stvar stoji tako, kao da je paralelno ulaznom induktivitetu L_1 spojen kondenzator s kapacitetom $C_n/ü^2$. Ako je na primjer $C_n = 50$ pF,



Sl. 72.

a $ü = 1:3$, dobit će se u ulaznom krugu kapacitet od $3^2 \cdot 50 = 450$ pF! Vidimo dakle koliko je važno kapacitet C_n držati što manjim. Za prijenosne odnose $ü < 1$, koji nas ovdje jedini zanimaju, na ulaznu stranu preneseni paralelni kapacitet transformatora $C_n/ü^2$ znatno je veći od ostalih paralelnih kapaciteta na ulaznoj strani. Dovoljno je dakle ubuduće računati samo s kapacitetom $C_n/ü^2$.

95. — Prema odsjeku 55. možemo jedan stupanj transformatorskog pojačala smatrati generatorom izmjenične struje G, koji ima unutarnji otpor R_i, i koji radi na vanjski otpor R_a sastavljen od paralelnog spoja L_1 i $C_n/ü^2$. Tako dobivamo nadomjesnu shemu prikazanu u sl. 73, koja



Sl. 73.

doduše vrijedi samo za transformator bez radnog otpora, s vrlo čvrstom vezom, dakle s malenim rasipanjem.[9]) Budući da je kod visokih frekvencija induktivni otpor ωL_1 mnogo veći nego kapicitivni otpor $\ddot{u}^2/(\omega \cdot C_n)$, bit će elektronka V_1 opterećena kapacitivno, tako da iz jedn. (26) i (37) dobivamo:

$$V_u = \{[1/(\ddot{u} \cdot D)] \cdot \ddot{u}^2/(\omega \cdot C_n)\}/\sqrt{R_i^2 + [\ddot{u}^2/(\omega \cdot C_n)]^2}$$ ili sa $\omega \cdot C_n/\ddot{u}^2$

$V_u = [1/(\ddot{u} \cdot D)] \cdot 1/\sqrt{1 + R_i^2 \cdot (\omega \cdot C_n/\ddot{u}^2)^2}$. Što je veći $\ddot{u}$, a manji R_i i C_n, to se više izraz korijena približava jedinici, to jest V_u se približava maksimalnoj vrijednosti $1/\ddot{u} \cdot D$, te će zapostavljanje visokih frekvencija biti slabije. Za gornju graničnu frekvenciju f_0 pada faktor pojačanja na $\sqrt{2}$-ti dio maksimalnog pojačanja (vidi odsjek 77). Za ovu frekvenciju mora dakle biti: $\sqrt{1 + R_i^2 (\omega_0 \cdot C_n/\ddot{u}^2)^2} = \sqrt{2}$ ili kvadrirano: $1 + R_i^2 (\omega_0 \cdot C_n/\ddot{u}^2)^2 = 2$; to znači da mora biti $R_i \leqq \ddot{u}^2/(\omega_0 C_n)$ ili $\ddot{u} \geqq \sqrt{R_i \omega_0 C_n}$. Odavle vidimo da unutarnji otpor prethodne elektronke R_i mora biti po mogućnosti što manji, a prijenosni odnos $\ddot{u}$ ne smije biti premalen, dakle povisivanje napona transformatorom ne smije biti preveliko, kako gubitak napona kod najviših frekvencija ne bi po stupnju iznosio više od 30%. Tako je na primjer za $\omega_0 = 60\,000 = 6 \cdot 10^4$ ($f_0 \approx 9\,600$ Hz), $C_n = 100$ pF $= 10^{-10}$ F, $R_i = 10$ kΩ $= 10^4$ Ω, najveći dopušteni prijenosni odnos $\ddot{u} = \sqrt{10^4 \cdot 6 \cdot 10^4 \cdot 10^{-10}} = \sqrt{0{,}06} = 0{,}245 \approx 1:4$.

96. — Budući da paralelni spoj od L_1 i $C_n/\ddot{u}^2$ predstavlja titrajni krug, doći će kod neke određene kružne frekvencije ω_r do paralelne rezonancije. U tom slučaju je $\omega_r \cdot L_1 = \ddot{u}^2/(\omega_r \cdot C_n)$ (vidi dio I, odsjeke **101** i 102), tako da je otpor rezonantnog kruga uz induktivitet L_1 bez radnog otpora beskonačno velik (zaporni krug). Elektronka V_1 radi u tom slučaju u praznom hodu ($\Re_a = \infty$) i daje maksimalno pojačanje napona $V_u = 1/(\ddot{u} \cdot D)$. Paralelna rezonancija dolazi do izražaja samo onda, ako je $R_i \gg \omega_r \cdot L_1$, to jest ako otpor za izmjeničnu struju $\omega_r \cdot L_1$ nije mnogo umanjen unutarnjim otporom R_i (paralelni spoj!), dakle samo kod malenih vrijednosti ω_r i L_1.

Ponavljanje

Kapacitet C_n, koji leži paralelno izlaznom namotaju transformatora, pojavljuje se u ulaznom krugu podijeljen s kvadratom prijenosnog odnosa. Kod visokih frekvencija je prema tome anodni krug elektronke pred transformatorom opterećen pretežno kapacitivno. Kod gornje granične frekvencije kapacitivni je otpor prenesenog kapaciteta izlaznog kruga na anodni krug jednak unutarnjem otporu elektronke. Prijenosni odnos transformatora ne smije biti manji od $\sqrt{R_i \cdot \omega_0 \cdot C_n}$, a da pojačanje napona kod gornje granične kružne frekvencije ω_0 iznosi još oko 70% od maksimalnog pojačanja napona po stupnju pojačala. U slučaju paralelne rezonancije između ulaznog induktiviteta transformatora i paralelnog kapaciteta izlaznog kruga transformatora prenesenog na ulazni krug bit će pojačanje najveće.

[9]) Inače bi trebalo umjesto L_1 uvrstiti vrijednosti $k \cdot L_1$, gdje k označuje faktor veze između namotaja (vidi odsjek 97).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čime je određena gornja granična frekvencija nekog stupnja transformatorskog pojačala? *Odgovor:* Paralelnim kapacitetom izlaznog kruga transformatora. — *P.:* Koji uvjet treba ispuniti da pojačanje napona nekog stupnja transformatorskog pojačala kod najviših frekvencija ne padne za više od 30%? *O.:* Unutarnji otpor prethodne elektronke ne smije biti veći od kapacitivnog otpora paralelnog kapaciteta izlaznog kruga transformatora prenesenog na ulazni krug. — *P.:* Koji daljnji zahtjev slijedi iz toga? *O.:* Prijenosni odnos transformatora ne smije biti premalen. — *P.:* Kada kod transformatora dolazi do paralelne rezonancije? *O.:* Ako je induktivni otpor ulaznog induktiviteta transformatora jednak kapacitivnom otporu paralelnog kapaciteta izlaznog kruga transformatora prenesenog na ulazni krug. — *P.:* Koje značenje ima frekvencija paralelne rezonancije? *O.:* Kod ove postizava pojačanje napona najvišu vrijednost.

Pitanja

45. Može li se neki određeni niskofrekventni transformator upotrebiti u anodnom krugu bilo koje elektronke pojačala?

46. Koje mane uzrokuje protjecanje istosmjerne struje kroz ulazni namotaj niskofrekventnog transformatora?

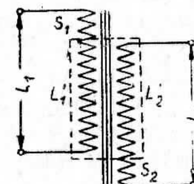
47. Kako je velik paralelni kapacitet u izlaznom krugu niskofrekventnog transformatora nekog stupnja transformatorskog pojačala?

Zadaci

34. Neki stupanj transformatorskog pojačala radi s triodom, koje je faktor pojačanja 30 i unutarnji otpor 20 kΩ. Niskofrekventni transformator ima prijenosni odnos 1 : 3 i ulazni induktivitet od 100 H, te je preko kondenzatora od 0,1 μF spojen na omski otpor od 100 kΩ u anodnom krugu triode: a) Kolika je rezonantna frekvencija ulaznog kruga transformatora kod serijske rezonancije? b) Koliko je rezonantno izdizanje kod serijske rezonancije? c) Koliko je pojačanje napona kod rezonantne frekvencije?

35. Granične frekvencije nekog stupnja transformatorskog pojačala moraju da budu kod 30 Hz i 12 000 Hz uz unutarnji otpor elektronke od 15 kΩ: a) Koliki mora da bude minimalni ulazni induktivitet niskofrekventnog transformatora? b) Koju maksimalnu vrijednost smije imati paralelni kapacitet izlaznog kruga transformatora kod prijenosnog odnosa 1 : 3? c) Kolika je frekvencija paralelne rezonancije?

97. — U dosadašnjim razmatranjima o djelovanju niskofrekventnog transformatora pretpostavili smo da između ulaznog i izlaznog namotaja transformatora postoji savršeno čvrsta veza, to jest da sve magnetske silnice proizvedene u ulaznom namotaju prolaze i kroz izlazni namotaj. Iako je djelovanjem željezne jezgre taj uslov uglavnom ispunjen, ipak se dio magnetskih silnica ulaznog odnosno izlaznog namotaja rasipava. Radi ovog rasipanja silnica nije više stanoviti dio S_1 ulaznog induktiviteta L_1 transformatora vezan s izlaznim induktivitetom L_2, a isto tako stanoviti dio S_2 izlaznog induktiviteta L_2 s ulaznim induktivitetom L_1. S_1 i S_2 nazivamo *rasipnim induktivitetima* ulaznog, odnosno izlaznog namotaja. Djelovanje *rasipanja* možemo predočiti tako da savršeno vezanim induktivitetima



Sl. 74.

$L_1' - L_2'$ ulaznog i izlaznog namotaja (sl. 74) spojimo u seriju rasipne induktivitete S_1, odnosno S_2. Rasipni induktiviteti djeluju tada kao male prigušnice na kojima dolazi do pada izmjeničnog napona. Ukupni induktivitet L_1 ulaznog namotaja jednak je: $L_1 = L_1' + S_1$. Iz toga slijedi $S_1 = L_1 - L_1'$. Isto tako dobivamo $S_2 = L_2 - L_2'$. Označimo li sa w_1' i w_2 broj zavoja induktiviteta L_1' i L_2' to dobivamo prema dijelu I, jedn. (15)

$$L_1' = \mu \Pi \cdot (w_1'^2 \cdot F/l) \cdot 10^{-8} = (w_1'/w_2') \cdot \mu \Pi \cdot (w_1' \cdot w_2' \cdot F/l) \cdot 10^{-8}$$

Prema jedn. (81) iz dijela I možemo pisati: $L_1' = (w_1'/w_2') \cdot M_0$, pri čemu je M_0 jednak najvećem međusobnom induktivitetu (kod faktora veze: $k = 1$: vidi dio I, odsjek 212. i 213.). Uz vrlo čvrstu vezu bit će $k \approx 1$ i $w_1'/w_2' \approx \approx w_1/w_2 = ü$, te je $M = k \cdot M_0 \approx M_0$. Odavle imamo: $L_1' = ü M$ i tome analogno $L_2' = M/ü$. Za vrlo čvrstu vezu i slabo rasipanje vrijedi dakle općenito: $ü \cdot M = (w_1/w_2) \cdot k \cdot M_0 = k \cdot (w_1/w_2) \mu \cdot \Pi \cdot (w_1 \cdot w_2 \cdot F/l) \cdot 10^{-8} = k \cdot \mu \cdot \Pi \cdot (w_1^2 \cdot F/l) \cdot 10^{-8}$. Prema jedn. (15) u dijelu I, bit će: $ü \cdot M = k \cdot L_1$ i analogno: $M/ü = k \cdot L_2$. Dijeljenjem dobivamo: $k \cdot L_1/(k \cdot L_2) = ü^2$, ili

$$\boxed{L_1 = ü^2 \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots \quad (43)$$

Iz svega slijedi: $S_1 = L_1 - L_1' = L_1 - üM = L_1 - kL_1$, ili:

$$\boxed{S_1 = L_1 - üM = (1 - k)\, L_1} \quad \dots\dots \quad (44)$$

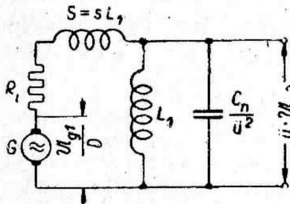
Nadalje je: $S_2 = L_2 - L_2' = L_2 - M/ü = L_2 - kL_2$ ili:

$$\boxed{S_2 = L_2 - M/ü = (1 - k)\, L_2} \quad \dots\dots \quad (45)$$

98. — Podijelimo li jedn. (44) s jedn. (45) dobivamo:

$S_1/S_2 = (1 - k)\, L_1/[(1 - k)\, L_2] = L_1/L_2$, dakle prema jedn. (43): $S_1/S_2 = ü^2$. to jest:

$$\boxed{S_1 = ü^2 S_2} \quad \dots\dots\dots \quad (46)$$



Sl. 75.

Rasipni induktivitet S_2 izlaznog namotaja djeluje kao rasipni induktivitet $ü^2 S_2$ u ulaznom krugu transformatora. Prema jedn. (44) i (46) bit će ukupni rasipni induktivitet u ulaznom krugu:

$S = S_1 + ü^2 \cdot S_2 = (1 - k) \cdot L_1 + ü^2 \cdot (1 - k) \cdot L_2 = (1 - k) \cdot (L_1 + ü^2 L_2)$, ili prema jedn. (43) $S = (1 - k) \cdot (L_1 + L_1) = 2 \cdot (1 - k) \cdot L_1$. Izraz:

$$\boxed{s = 2\,(1 - k)} \quad (\text{za } k \approx 1) \quad \dots \quad (47)$$

naziva se *faktorom rasipanja* (vrijedi samo za $k \approx 1$!). Prema tome dobivamo:

$$\boxed{S = sL_1} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (48)$$

Kvalitativni niskofrekventni transformatori imaju faktor rasipanja $s \leq 1\%$. Za $S = 1\%$ neće faktor veze biti $k = 99\%$, nego $k = (2 - s)/2 = (2 - 0{,}01)/2 = 1{,}99/2 = 0{,}995 = 99{,}5\%$. Na sl. 75. vidimo nadomjesnu sliku nekog stupnja transformatorskog pojačala svedenu na ulazni krug transformatora. U načelu ova slika odgovara sl. 73, samo što je ulaznom induktivitetu L_1 spojen ukupni rasipni induktivitet $S = sL_1$ u seriju kao prigušnica. Za $s = 1\%$ i $L_1 = 100$ H imat će rasipni induktivitet veličinu $S = 0{,}01 \cdot 100 = 1$ H.

Ponavljanje

R a s i p a n j e m magnetskih silnica nekog transformatora smatramo pojavu da sve silnice ulaznog namotaja nisu vezane s izlaznim namotajem i obratno. Induktivitete koji ne učestvuju u međusobnoj vezi namotaja transformatora nazivamo *rasipnim induktivitetima* S_1 i S_2. Oni djeluju kao malene prigušnice koje su dodane ulaznom, odnosno izlaznom induktivitetu L_1', odnosno L_2'. Označuje li M međusobni induktivitet, a k faktor veze, bit će: $S_1 = L_1 - üM = (1 - k) \cdot L_1$ i $S_2 = L_2 - M/ü = (1 - k) \cdot L_2$, a $S_1 = ü^2 S_2$. Oba rasipna induktiviteta S_1 i S_2 djeluju kao jedan jedini rasipni induktivitet $S = sL_1$ u ulaznom krugu transformatora. Pri tome je faktor rasipanja $s = 2\,(1 - k)$, ako je veza prilično čvrsta ($k \approx 1$).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što znači rasipanje transformatora? *Odgovor:* Magnetske silnice proizvedene od ulaznog, odnosno izlaznog namotaja, ne prolaze sve kroz željeznu jezgru, pa prema tome ni kroz izlazni, odnosno ulazni namotaj, nego se dio magnetskih silnica rasipa izvan namotaja transformatora. — *P.:* Što razumijevamo pod rasipnim induktivitetom? *O.:* Dio ulaznog, odnosno izlaznog induktiviteta transformatora, koji ne sudjeluje u međusobnoj vezi namotaja. — *P.:* Kako djeluju ovi rasipni induktiviteti? *O.:* Kao malene prigušnice dodane ulaznom i izlaznom namotaju. — *P.:* Koja međusobna ovisnost postoji između oba rasipna induktiviteta? *O.:* $S_1 = ü^2 S_2$. — *P.:* Koliki je na ulazni krug preneseni ukupni rasipni induktivitet? *O.:* $S = sL_1$. — *P.:* Što znači s? *O.:* Faktor rasipanja.

99. — Uslijed malenih rasipnih induktiviteta dolazi rasipanje do izražaja tek kod v i s o k i h frekvencija i tada uzrokuje sniženje pojačanja napona. Najprije dolazi do rezonancije (s e r i j s k a r e z o n a n c i j a) između ukupnog rasipnog induktiviteta sL_1 i prenesenog paralelnog kapaciteta $C_n/ü^2$ transformatora. U tom je slučaju induktivni otpor ukupnog rasipnog induktiviteta jednak kapacitivnom otporu spomenutog paralelnog kapaciteta, dakle: $\omega_r \cdot s \cdot L_1 = ü^2/(\omega_r\, C_n)$, ako ω_r označuje kružnu frekvenciju kod rezonancije *(kružnu frekvenciju serijske rezonancije)*. Ovdje imamo sličan slučaj kao kod serijske rezonancije u odsjeku 93. Serijska rezonancija dovodi do dodatnog povišenja napona na sL_1 i $C_n/ü^2$, koje se može lako izračunati kao i u odsjeku 93. Budući da elektronka predstupnja kod serijske rezonancije radi u kratkom spoju (paralelan otpor $\omega_r L_1$ tako je velik da praktički ne uzrokuje nikakvo prigušenje, te ga zbog

toga možemo zanemariti), kao razliku napona $\ddot{u} \cdot \mathfrak{U}_{g2}$[10]) na kapacitetu $C_n/\ddot{u}^2$ (vidi sl. 75) dobivamo: $\ddot{u} \cdot \mathfrak{U}_{g2} = \mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a = \mathfrak{J}_a \cdot \ddot{u}^2/(\omega_r \cdot C_n) = S \cdot \mathfrak{U}_{g1} \cdot \ddot{u}^2 / (\omega_r \cdot C_n)$ (vidi jedn. 21), dakle: $V_r = \mathfrak{U}_{g2} / \mathfrak{U}_{g1} = (S/\ddot{u}) \cdot \ddot{u}^2/(\omega_r \cdot C_n)$, te prema dijelu I, jedn. (92) izlazi:

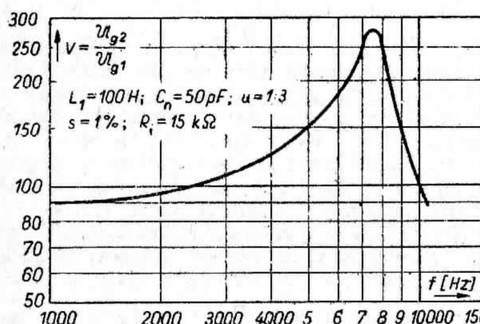
$$V_r = \frac{1}{\ddot{u} \cdot D} \cdot \frac{\ddot{u}^2}{R_i \cdot \omega_r C_n} \quad \ldots \ldots \quad (49)$$

Budući da je kod srednjih frekvencija $V_u \approx 1/(\ddot{u} \cdot D)$, iz jedn. (49) za oštrinu rezonancije kod frekvencije rasipne rezonancije dobivamo: $\varrho = V_r/V_u = [1/(\ddot{u} \cdot D)] \cdot [\ddot{u}^2/(R_i\, \omega_r\, C_n)] \cdot \ddot{u} \cdot D = \ddot{u}^2/(R_i\, \omega_r\, C_n)$. Zbog $\ddot{u}^2/(\omega_r\, C_n) = \omega_r \cdot sL_1$ dobivamo nadalje:

$$\varrho = \frac{\omega_r\, sL_1}{R_i} = \frac{\ddot{u}^2}{\omega_r\, C_n\, R_i} \quad \ldots \ldots \quad (50)$$

Pri upotrebi »električke skretnice« u ulaznom krugu transformatora (vidi odsjek 93) treba umjesto R_i uvrstiti vrijednost otpora R sastavljenog od paralelnog spoja R_a i R_i.

100. — Odabere li se faktor rasipanja s (ili ulazni induktivitet D_t) tako da ϱ bude jednako 1, kod frekvencije rasipne rezonancije n e ć e d o ć i j o š n i d o k a k v o g o p a d a n j a p o j a č a n j a n a p o n a. Prema tome mora se odabrati $R_i = \omega_r \cdot s\, L_1$. Odabere li se faktor rasipanja s malo većim, bit će $\varrho > 1$, to jest uslijed serijske rezonancije doći će do d o d a t n o g p o j a č a n j a n a p o n a u gornjem području tonskih frekvencija. Imat ćemo slične odnose kao u odsjeku 93. kod niskih frekvencija. Ovo izdizanje napona može se iskoristiti za izjednačenje u slučaju zapostavljanja visokih frekvencija (»k o r e k c i j a«). Na sl. 76. prikazan je primjer za djelovanje serijske rezonancije kod visokih frekvencija. Frekvencija rasipne rezonancije leži kod 7 500 Hz, dok je rezonantno izdizanje kod ove frekvencije veće od 3. Krivulja pojačanja napona opada poslije frekvencije rasipne rezonancije vrlo strmo (usporedi također sl. 75).



Sl. 76.

101. — Treba li neko transformatorsko pojačalo prenositi sve frekvencije od najniže kružne frekvencije ω_t do najviše kružne frekvencije ω_h potpuno jednoliko ($\varrho = 1$), moraju ove kružne frekvencije da budu jednake donjoj, odnosno gornjoj kružnoj frekvenciji serijske rezonancije (usporedi odsjek 93). Za ω_t iz jedn. (42) slijedi prema tome uvjet (za $R \approx R_i$): $R_i \leq \omega_t \cdot L_1$, i za ω_h prema jedn. (50) uvjet: $R_i \leq \omega_h \cdot s \cdot L_1 \leq \ddot{u}^2/(\omega_h C_n)$. Tada[11]) će pojačanje napona u cijelom tonfrekventnom području od ω_t do ω_h praktički biti jednako maksimalnoj vrijednosti $V_u = \mathfrak{U}_{g2}/\mathfrak{U}_{g1} = 1/(\ddot{u} \cdot D)$. Nadalje dobivamo $\omega_t\, L_1/(\omega_h \cdot s \cdot L_1) \approx R_i/R_i = 1$ ili:

$$\frac{\omega_t}{\omega_h} = \frac{f_t}{f_h} \approx s \quad \ldots \ldots \quad (51)$$

Na primjer za $f_t = 40$ Hz i $f_h = 10\,000$ Hz dobivamo: $s = 40/10\,000 = 0{,}004 = 0{,}4\%$. Spomenuti uvjeti za jednoliko pojačanje napona preko velikog tonfrekventnog područja mogu se često praktički samo približno ispuniti, budući da L_1 i s ovise o veličini anodne istosmjerne struje I_a i anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$. To vrijedi u toliko više, u koliko mora neki niskofrekventni transformator da bude svestranije primjene, te nije proračunan niti konstruiran baš za neki određeni slučaj.

Ponavljanje

Zbog rasipanja niskofrekventnog transformatora gornje je područje frekvencija nekog transformatorskog pojačala ograničeno. Prije opadanja pojačanja napona kod visokih frekvencija dolazi još do *rezonancije rasipanja (serijska rezonancija)* između ukupnog rasipnog induktiviteta $s \cdot L_1$ i paralelnog kapaciteta prenesenog na ulazni krug transformatora $C_n/\ddot{u}^2$. Time se može postići jednoliko pojačanje do frekvencije rasipne rezonancije, pa čak i izdizanje visokih frekvencija. Pojačanje nakon frekvencije rasipne rezonancije vrlo naglo opada. Ako je ω_h najviša prenošena kružna frekvencija i ako se ona podudara s frekvencijom rasipne rezonancije, onda s obzirom na jednoliko pojačanje visokih frekvencija mora da bude: $R_i \leq \omega_h \cdot s \cdot L_1 \leq \ddot{u}^2/(\omega_h \cdot C_n)$.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje su loše posljedice rasipanja niskofrekventnih transformatora? *Odgovor:* Ono ograničuje područje najviših tonskih frekvencija. — *P.:* Koje prednosti ima rasipanje? *O.:* Zbog njega kod visokih frekvencija dolazi do serijske rezonancije između ukupnog rasipnog induktiviteta i paralelnog kapaciteta izlaznog kruga transformatora prenesenog na primarni krug. — *P.:* Kakva je to prednost? *O.:* Serijskom rezonancijom može se postići jednoliko pojačanje do frekvencije rasipne rezonancije ili također izdizanje visokih frekvencija. — *P.:* Koji uvjet valja ispuniti da neki stupanj transformatorskog pojačala jednoliko pojačava od najnižih kružnih frekvencija ω_t do najviših kružnih frekvencija ω_h? *O.:* Unutarnji otpor elektronke smije biti najviše jednak induktivnom otporu ulaznog induktiviteta i ukupnog rasipnog induktiviteta ulaznog kruga transformatora. Osim toga mora se najniža, odnosno najviša prenošena frekvencija podudarati s donjom, odnosno s gornjom frekvencijom serijske rezonancije.

[10]) Izmjenični napon $\mathfrak{U}_{g2}$ na izlaznom krugu transformatora djeluje prema jedn. (3) kao izmjenični napon $\ddot{u} \cdot \mathfrak{U}_{g2}$ u ulaznom krugu.

[11]) Uvjet $R_i \leq \ddot{u}^2/(\omega_h C_n)$ podudara se s odsjekom 95. Tamo navedeni uvjet odnosi se na gornju g r a n i č n u frekvenciju, to jest dopušteno linearno izobličenje iznosi oko 30%.

Pitanja

48. Kako se može prikazati ukupni rasipni induktivitet nekog niskofrekventnog transformatora? — 49. Na koji način djeluje induktivitet L_2 i rasipni induktivitet S_2 izlaznog kruga nekog transformatora u ulaznom krugu? — 50. Koja pojava omogućuje da se pomoću transformatorskog pojačala može jednoliko pojačati široko tonfrekventno područje?

Zadaci

36. Neki niskofrekventni transformator ima ulazni induktivitet 120 H, prijenosni odnos 1 : 4 i faktor rasipanja 2%. Kako je velik: a) faktor veze, b) izlazni induktivitet, c) ukupni rasipni induktivitet, d) ulazni rasipni induktivitet, e) izlazni rasipni induktivitet?

37. U nekom stupnju transformatorskog pojačala radi trioda, koja ima unutarnji otpor 10 kΩ i faktor pojačanja 15. Transformator ima prijenosni odnos 1 : 2, ulazni induktivitet 80 H i faktor rasipanja 1%. Rasipna rezonantna frekvencija treba da bude kod 12 kHz. a) Koliki mora da bude paralelni kapacitet u izlaznom krugu transformatora? b) Koliko je rezonantno izdizanje? c) Koliko je pojačanje kod rasipne rezonantne frekvencije?

38. Neki stupanj transformatorskog pojačala mora jednoliko da pojačava cijelo tonfrekventno područje od 50 Hz do 10 000 Hz: a) Koliki mora da bude faktor rasipanja transformatora? b) Koju maksimalnu vrijednost ne smije prekoračiti unutarnji otpor elektronke kod ulaznog induktiviteta od 60 H? c) Koliki mora da bude prijenosni odnos u slučaju da paralelni kapacitet izlaznog kruga iznosi 50 pF?

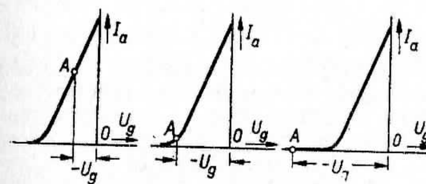
Općenito o izlaznom stupnju niskofrekventnog pojačala

102. — Zadatak dosad opisanih niskofrekventnih pojačala bio je da male izmjenične napone pojačaju na tako visoku vrijednost koja će biti dovoljna za uzbuđivanje izlaznog pojačala (usporedi odsjek 63). Pri tome se radilo o pojačavanju napona, dok je odavana izmjenična snaga bila vrlo malena. Nasuprot tome mora *izlazni stupanj* niskofrekventnog pojačala da daje neku određenu izmjeničnu snagu nekom potrošaču (na primjer zvučniku). Izlazni stupanj djeluje pri tome pretežno kao *pojačalo snage*. Predavana snaga, koja se također zove *govornom snagom*, mora da bude što veća i bez izobličenja. Budući da se rešetki elektronke u izlaznom stupnju dovodi od pretpojačala prilično velik izmjenični napon, mora elektronka imati veliko uzbudno područje, dakle velik prohvat (vidi odsjek 58). Takve elektronke nazivamo *izlaznim elektronkama* ili također pojačalima snage; odnosno elektronkama za pogon zvučnika. Triode kao izlazne elektronke (na primjer AD 1, RE 604, odnosno LK 460) daju samo uz velike izmjenične napone na rešetki veliku izmjeničnu snagu, te zbog velikog prohvata malo pridonose pojačanju napona (povišenju jakosti zvuka). Pentode kao izlazne elektronke (na primjer AL 4, RES 964, odnosno L 496 D) daju zbog svog malog prohvata uz veliku izmjeničnu snagu također znatno pojačanje napona (vidi dio I, odsjek 277 i sl. 211). Time se često može uštedjeti posebna elektronka pretpojačala ispred izlazne pentode, tako da na primjer audion može uzbuđivati direktno izlaznu pentodu.

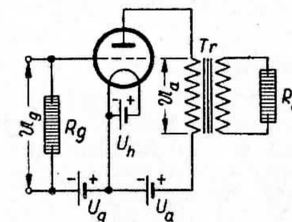
103. — Izlazni stupanj može se izvesti kao jednostavni stupanj ili u protufaznom spoju (rjeđe u paralelnom spoju). Prema položaju radne tačke na U_g—I_a-karakteristici razlikujemo ove vrste pojačala (sl. 77):

1. *A-pojačalo:* radna tačka A leži kao i dosada u sredini ravnog dijela karakteristike. Uzbuđivanje elektronke vrši se simetrično oko radne tačke.

2. *B-pojačalo:* radna tačka A leži na donjem koljenu karakteristike, tako da je anodna struja mirovanja gotovo jednaka nuli. Uzbuđivanje se vrši nesimetrično oko radne tačke, te se iskorišćuju samo pozitivni poluvalovi (poluperiode) izmjeničnog napona na rešetki (slično kao kod ispravljanja!). Uzbuđivanje često seže i u pozitivno po-



Sl. 77.



Sl. 78.

dručje napona rešetke, tako da se pojavljuju struje rešetke. Zbog vrlo jakog izobličenja, koje nastaje zbog položaja radne tačke, dolazi ovaj spoj u obzir samo kod pojačala u protufaznom spoju, na primjer za baterijske prijemnike i velika pojačala (vidi odsjek 151).

3. *C-pojačalo:* ovdje radna tačka A leži ispod donjeg koljena karakteristike, u području velikog negativnog napona rešetke. C-pojačalo se upotrebljava isključivo u tehnici odašiljanja za pojačavanje visokofrekventnih titraja (visokofrekventno pojačalo).

104. — Na sl. 78. vidimo osnovni spoj jednostavnog izlaznog stupnja. Omski opteretni otpor R_a *spojen* je u izlazni krug izlaznog transformatora *Tr*, koji zbog jednostavnosti neka ima prijenosni odnos 1 : 1. Prema odsjeku 89. djeluje ovaj spoj tako kao da je u anodni krug izlazne elektronke spojen omski otpor veličine R_a. Ako se omski otpor (koji je većinom malen) ulaznog namotaja izlaznog transformatora zanemari, anodni istosmjerni napon praktički je jednak naponu baterije. Izmjenična snaga na otporu R_a anodnog kruga proizvedena od efektivnih vrijednosti anodnog izmjeničnog napona i anodne izmjenične struje (vidi dio I, jedn. 34) iznosi: $\mathfrak{N}_a = (\mathfrak{U}_{aef} \cdot \mathfrak{J}_{aef}$ ili izraženo pomoću tjemenih vrijednosti: $\mathfrak{N}_a = (\mathfrak{U}_a/\sqrt{2}) \cdot \mathfrak{J}_a/\sqrt{2} = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2$. Budući da je po Ohmovu zakonu $\mathfrak{J}_a = \mathfrak{U}_a/R_a$ i $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{J}_a \cdot R_a$ dobivamo (usporedi također odsjek 114 i jedn. 58):

$$\mathfrak{N}_a = \frac{\mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a}{2} = \frac{\mathfrak{U}_a^2}{2\,R_a} = \frac{\mathfrak{J}_a^2 \cdot R_a}{2} \quad . \; . \; . \; . \quad (52)$$

Uvrstimo li u treću jednadžbu za $\mathfrak{J}_a$ vrijednost iz jedn. (24), dobivamo:

$$\mathfrak{N}_a = \frac{\mathfrak{U}_g^2}{2\,D^2} \cdot \frac{(R_i + R_a)^2}{R_a} \qquad (53)$$

Odavde vidimo da izmjenična snaga raste s k v a d r a t o m izmjeničnog napona na rešetki. Uz neki izmjenični napon na rešetki $\mathfrak{U}_g$ bit će izlazna snaga najveća za $R_a = R_i$ što je lako dokazati[12]), naime: $\mathfrak{N}_a = [\mathfrak{U}_g^2/(2 \cdot D^2)] \cdot R_i/(2\,R_i)^2$, to jest $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_g^2/(8 \cdot R^2 \cdot R_i)$. Ova se činjenica podudara s općim zakonom elektrotehnike, prema kojemu generator daje n a j v e ć u s n a g u potrošaču onda, ako je otpor potrošača jednak unutarnjem otporu generatora. U tom slučaju govorimo o *prilagođenju* obaju otpora (vidi odsjek 89).

Ponavljanje

I z l a z n i s t u p a n j niskofrekventnog pojačala mora da potrošaču (na primjer zvučniku) u anodnom krugu predaje što je moguće veću snagu bez izobličenja. Upotrebi li se u izlaznom stupnju t r i o d a, potrebno je imati dovoljno pretpojačanje izmjeničnog napona koji se dovodi rešetki, kako bi se izlaznu elektronku moglo dovoljno uzbuditi. Kod izlaznih p e n t o d a nije potreban tako velik izmjenični napon, jer i sama pentoda pridonosi pojačanju napona. Izlazni stupanj može se izvesti kao jednostavan izlazni stupanj ili u protufaznom spoju, odnosno u paralelnom spoju. Prema položaju radne tačke na U_g—I_a-karakteristici razlikujemo: A-pojačalo, B-pojačalo i C-pojačalo. Kod A-pojačala, koje se najviše upotrebljava, radna tačka leži kao obično u sredini ravnog dijela karakteristike. Kod B-pojačala nalazi se radna tačka na početku ili čak s onu stranu početne tačke karakteristike. Izmjenična snaga što je izlazna elektronka predaje potrošaču, koji predstavlja optećerenje bez faznog pomaka (omski otpor) bit će: $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2 = [\mathfrak{U}_g^2/(2\,D^2)] \cdot R_a/(R_i + R_a)^2$. Kod p r i l a g o đ e n i h o t p o r a, to jest kod $R_a = R_i$ bit će izmjenična snaga najveća.

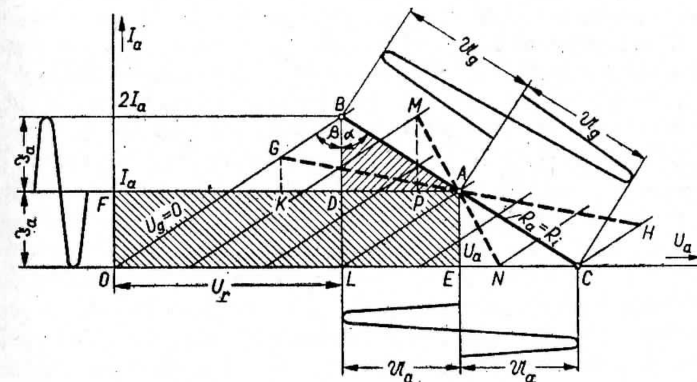
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji je zadatak izlaznog stupnja niskofrekventnog pojačala? *Odgovor:* On mora dobavljati zvučniku što je moguće veću izmjeničnu snagu, i to bez izobličenja. — *P.:* Kako nazivamo elektronke koje se upotrebljavaju u izlaznom stupnju? *O.:* Izlazne elektronke, pojačala snage ili elektronke za pogon zvučnika. — *P.:* Koje vrste elektronki dolaze pri tome u obzir? *O.:* Izlazne triode i izlazne pentode. — *P.:* Koja je razlika u djelovanju između tih dviju vrsta elektronki? *O.:* Izlazne triode zbog svog velikog prohvata, pridonose tek malo pojačanju napona, dok izlazne pentode zbog svog malog prohvata daju znatno pojačanje napona. — *P.:* Kako može biti spojen izlazni stupanj? *O.:* Kao jednostavan izlazni stupanj ili kao pojačalo u protufaznom spoju ili u paralelnom spoju. — *P.:* Kako radi A-pojačalo? *O.:* Kod A-pojačala radna tačka leži u sredini ravnog dijela karakteristike. — *P.:* Kolika je izmjenična snaga neke izlazne elektronke? *O.:* $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2$ u slučaju da se radi o omskom opterećenju. — *P.:* U kakvom je odnosu izmjenična snaga prema izmjeničnom naponu na rešetki? *O.:* Snaga je proporcionalna kvadratu izmjeničnog napona na rešetki. — *P.:* Kada je izmjenična snaga uz neki izmjenični napon na rešetki najveća? *O.:* Kod prilagođenog otpora, to jest u slučaju kad je opteretni otpor jednak unutarnjem otporu elektronke.

[12]) Mora se staviti da je diferencijalni kvocijent $d\mathfrak{N}_a/dR_a = 0$; $d\mathfrak{N}_a/dR_a = [\mathfrak{U}_g^2/(2D^2)] \cdot [(R_i + R_a)^2 \cdot 1 - R_a \cdot 2 \cdot (R_i + R_a)]/(R_i + R_a)^4 = 0$. Iz ovoga slijedi: $(R_i + R_a)^2 = 2\,R_a\,(R_i + R_a)$ ili: $R_i + R_a = 2\,R_a$, to jest: $R_a = R_i$.

105. — Na sl. 79. prikazane su U_a—I_a-karakteristike s a v r š e n e izlazne triode. Karakteristike ovakve triode nemaju zakrivljenja, međusobno su paralelne i jednako razmaknute. Za slučaj p r i l a g o đ e n j a o t p o r a $R_a = R_i$ (vidi odsjek 104) mora kut nagiba α karakteristike BC da bude jednak nagibnom kutu β statičke karakteristike. Kako je prema jedn. (19) $R_1 = tg\,\alpha$, a prema dijelu I, odsjeku 269. i sl. 203[13]) $R_i = tg\,\beta$, i kako je $R_a = R_i$, slijedi da je $\alpha = \beta$. Prema tome mora radna karakteristika BC biti tako položena da trokut OBC bude istokračan ($OB = BC$). Da se izbjegne preuzbuđenje, odabire se radna tačka A, oko koje se vrši uzbuđivanje, tačno u sredini radne krivulje BC. Uzbuđenje je tada ograničeno s jedne strane naponom rešetke $U_g = 0$ (tačka B), da ne dobijemo struju rešetke, a s druge strane naponom rešetke kod kojeg je anodna struja $I_a = 0$ (tačka C), jer do negativne anodne struje ne može doći. Na sl. 79. nacrtan je, kao i na sl. 45, sinusoidni izmjenični napon rešetke $\mathfrak{U}_g$, osim toga nacrtana je i sinusoidna anodna izmjenična struja $\mathfrak{J}_a$, kojoj je tjemena vrijednost jednaka vrijednosti istosmjerne struje, a također sinusoidni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$ (usporedi sl. 45). Vidimo da su svi sinusoidni titraji zaista bez izobličenja, i da se dio anodnog napona $U_r = OL$ kod uzbuđivanja ne iskorištava. U_r se prema tome može nazvati *preostalim naponom*. Anodna struja se kod uzbuđivanja može mijenjati u granicama od nule do $2I_a$.

106. — Prema jedn. (52) iznosi i z m j e n i č n a s n a g a $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2$. Ovaj izraz predstavlja p o v r š i n u t r o k u t a ABD (vidi sl. 79). I s t o s m j e r n a s n a g a uzeta iz izvora istosmjerne struje iznosi



Sl. 79.

[13]) Kut α je na ovoj slici označen sada kao β.

$N_a = U_a \cdot I_a$, dakle jednaka je površini pravokutnika *OEAF*. Dio istosmjerne snage N_a pretvara se u izmjeničnu snagu $\mathfrak{N}_a$, a dio pak u gubitke na anodi N_v (vidi dio I, odsjek 262). N_v predstavlja snagu, koja se na anodi pretvara u *toplinu*. Prema tome je $N_a = \mathfrak{N}_a + N_v$ ili $\mathfrak{N}_a = N_a - N_v$. Za vrijeme stanke (kad nema signala) bit će $\mathfrak{N}_a = 0$, to jest $N_a = N_v$, a inače $N_a > N_v$. Što je veća površina trokuta prema površini pravokutnika, to je veći *stupanj iskoristivosti* η, to jest veći je *odnos između (predane) izmjenične snage prema (primljenoj ili utrošenoj) istosmjernoj snazi*, dakle $\eta = \mathfrak{N}_a / N_a$. Kod većih opteretnih otpora R_a, dakle za $R_a > R_i$, bit će radna karakteristika položenija (vidi odsjek 41) i dobit ćemo na primjer radni pravac *GH* s istom radnom tačkom *A*. Vidljivo je na prvi pogled da trokut snage *AGK* ima manju površinu od trokuta snage *ABD*. Izmjenična snaga bit će dakle za $R_a > R_i$ manja nego za $R_a = R_i$. Odaberemo li neki *manji* opteretni otpor R_a, tako da je $R_a < R_i$, dobit ćemo na primjer radni pravac *MN*. U ovom slučaju mora i izmjenični napon na rešetki biti manji nego ranije, jer anodna struja ne može biti tako uzbuđivana da joj vrijednost padne ispod nule. Zbog toga je površina trokuta *AMP* i opet manja nego trokuta snage *ABD*. Iz ovih je razmatranja jasno da se najveća izmjenična snaga dobiva kod prilagođenja $R_a = R_i$.

107. — U dosadašnjim prikazivanjima načina rada izlazne triode nismo uzeli u obzir različite pogonske uslove kojih se u stvarnosti treba pridržavati. Kao što smo u odsjeku 62. vidjeli, ne smije se ni u kojem slučaju prekoračiti maksimalno anodno opterećenje, a ni najveći dopušteni anodni istosmjerni napon. Radna tačka *A* ne smije ni u kojem slučaju ležati iznad hiperbole opterećenja (vidi dio I, odsjek 262 raspoređene tako jednoliko kao što smo pretpostavili na sl. 79. Karaktei sl. 194 desno). Osim toga U_a—I_a-karakteristike izlazne triode nisu ristike se kod većih anodnih napona i manjih anodnih struja u stvarnosti više zbližavaju (vidi dio I, sl. 194 desno). To se kod indirektno žarenih trioda pojavljuje u većoj mjeri nego kod direktno žarenih. Budući da ova pojava uzrokuje promjenu (povećanje) aktivnog prohvata (vidi dio I, odsjek 266), nazivamo time izazvana izobličenja anodne izmjenične struje i anodnog izmjeničnog napona *izobličenjima prohvata*. Nadalje nam je poznato da karakteristike elektronke nisu ravne nego se, naročito u donjem dijelu, jako savijaju. Posljedica toga je promjena strmine i unutarnjeg otpora elektronke (vidi dio I. odsjeke 268 i 269). Nadalje treba imati na umu da je uvjet za prilagođenje $R_a = R_i$ ispunjen samo za neku određenu frekvenciju, jer u mnogo slučajeva otpor potrošača, na primjer titrajne zavojnice zvučnika, ovisi mnogo o frekvenciji (vidi odsjek 126). Konačno je i tjemena vrijednost izmjeničnog napona na rešetki U_g s obzirom na rad izlazne elektronke bez izobličenja praktički ograničena, i to s jedne strane pojavom struje rešetke ($U_g \approx -2$ V), a s druge strane zakrivljenjem donjeg dijela karakteristike (vidi odsjek 61). Najveća izmjenična snaga

bez izobličenja, uzevši u obzir navedene pogonske uvjete, dobit će se kao što ćemo vidjeti u odsjeku 177. kad R_a ne bude više jednak R_i. Moramo dakle u svakom slučaju odrediti *najpovoljniji prilagodni otpor*. *Uvjet prilagođenja* $R_a = R_i$ *daje samo tada razmjerno najveću izmjeničnu snagu, ako se ne pretpostavljaju nikakvi daljnji uvjeti, a naročito ne uvjeti za rad bez izobličenja.*

Ponavljanje

Izmjenična snaga, koju izlazna elektronka predaje nekom potrošaču, grafički se može prikazati uz pomoć radne karakteristike u U_a—I_a-dijagramu površinom trokuta, a istosmjerna snaga površinom pravokutnika. Što je veća površina trokuta prema površini pravokutnika, to je veći stupanj iskoristivosti izlazne elektronke. Uvjet prilagođenja $R = R_i$ daje samo tada najveću izmjeničnu snagu, kad nikakav daljnji uvjet ne treba da bude ispunjen. U stvarnosti *nije najpovoljniji prilagodni otpor* jednak unutarnjem otporu elektronke, jer se važnost polaže na najveću izmjeničnu snagu koju elektronka može dati a da ne dođe do izobličenja. Pri određivanju najpovoljnijeg prilagodnog otpora neke izlazne triode mora se paziti na zbližavanje krivulja u U_a—I_a-dijagramu kod većih anodnih napona (»izobličenje prohvata«), zatim na donje zakrivljenje karakteristike, na tačku kod koje se javlja struja rešetke, na maksimalno dopušteno opterećenje anode i maksimalni anodni istosmjerni napon, kao i na to da je opteretni otpor često ovisan o frekvenciji.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može grafički prikazati izmjenična snaga neke izlazne elektronke? *Odgovor:* Površinom trokuta uz pomoć radne linije u U_a—I_a-dijagramu. — *P.:* Kako se dobiva taj trokut? *O.:* To je pravokutni trokut, kojemu je hipotenuza dio radne linije, a katete su jednake tjemenim vrijednostima anodnog izmjeničnog napona i anodne izmjenične struje. — *P.:* Može li se također istosmjerna snaga prikazati grafički? *O.:* Može površinom pravokutnika kojemu je visina jednaka anodnoj struji mirovanja, a osnovica jednaka anodnom istosmjernom naponu. — *P.:* Koja je razlika između »prilagodnog otpora« i »najpovoljnijeg prilagođenja«? *O.:* Uz prilagodni otpor ($R_a = R_i$) daje izlazna elektronka maksimalnu izmjeničnu snagu onda, ako nisu postavljeni nikakvi drugi uvjeti. Međutim ako je potrebno da izmjenična snaga bude ne samo što veća, nego također bez izobličenja, tada više ne vrijedi uvjet prilagođenja. Za ovaj slučaj najpovoljniji prilagodni otpor nije više jednak unutarnjem otporu elektronke. — *P.:* Kako mogu nastati izobličenja? *O.:* Uslijed nejednakih razmaka karakteristika (izobličenja prohvata), uslijed zakrivljenja donjeg dijela karakteristike i uslijed struje rešetke. — *P.:* Na što treba paziti pri određivanju najpovoljnijeg prilagodnog otpora? *O.:* Ne smije se prekoračiti maksimalno dopušteno opterećenje anode i maksimalni dopušteni anodni istosmjerni napon. Osim toga je otpor potrošača često ovisan o frekvenciji.

Pitanja

51. Koje prednosti imaju izlazne pentode pred izlaznim triodama?
52. Što razumijevamo pod preostalim naponom pri uzbuđivanju neke elektronke?
53. Zašto uvjet prilagođenja $R_a = R_i$ ne vrijedi općenito za najveću izmjeničnu snagu?

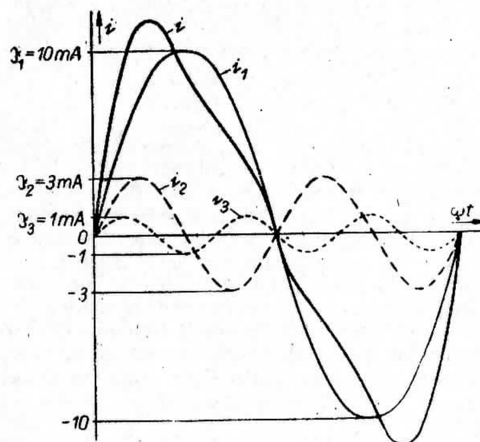
Zadaci

39. Anodni krug neke izlazne elektronke opterećen je preko izlaznog transformatora, koji ima prijenosni odnos 20 : 1, omskim otporom od 5 Ω. Mjerenje daje efektivnu vrijednost anodnog izmjeničnog napona od 90 V: a) Kolika je izmjenična snaga? b) Koliki je efektivni izmjenični napon na opteretnom otporu?

40. Neka izlazna trioda s faktorom pojačanja 3,5 i s nutarnjim otporom 1,4 kΩ, treba da daje izmjeničnu snagu od 2 W: a) Kolika mora da bude tjemena vrijednost izmjeničnog napona na rešetki u slučaju da je aktivni otpor anodnog kruga 3 kΩ? b) Koliki treba da je u ovom slučaju prijenosni odnos izlaznog transformatora, ako se u njegovom izlaznom krugu nalazi omski otpor od 4 kΩ.

Faktor izobličenja

108. — Prije nego što nastavimo razlaganja o najpovoljnijem prilagodnom otporu, moramo pobliže razmotriti vrste i z o b l i č e n j a koje uzrokuje karakteristika elektronke (vidi odsjek 107). Na sl. 48.-b i c vidjeli smo da je anodna izmjenična struja zbog donjeg z a k r i v l j e n j a k a r a k t e r i s t i k e izobličena. U takvom slučaju ne odgovara više tačno oblik anodne izmjenične struje odnosno anodnog izmjeničnog napona obliku izmjeničnog napona na rešetki. Budući da su ta izobličenja izazvana zakrivljenošću karakteristike elektronke, govorimo o *izobličenju oblika*, odnosno o *nelinearnom izobličenju*. Nasuprot tome ostaje kod f r e k v e n t n o g i z o b l i č e n j a (l i n e a r n o g i z o b l i č e n j a) opisanog u odsjeku 77. oblik krivulje uvijed jednak. Mijenja se samo odnos u kojem se prenose razne tonske frekvencije. Do zakrivljenih karakteristika, pa prema tome i do nelinearnih izobličenja, dolazi na primjer i u transformatorima. Zbog toga je potrebno da se uzbuđivanje vrši samo na ravnom dijelu krivulje magnetiziranja transformatora (vidi odsjek 92). Nelinearna izobličenja su jako neugodna, jer se stvaraju novi nadtonovi koji u prvotnom zvuku nisu uopće sadržani, te prenošena glazba i govor zvuče izobličeno i kreštavo.



Sl. 80.

109. — Na sl. 80. prikazane su za primjer tri sinusoidne krivulje izmjenične struje koje imaju ove jednadžbe: $i_1 = 10 \cdot \sin \omega t$, $i_2 = 3 \cdot \sin 2\omega t$ i $i_3 = \sin 3\omega t$. Tjemene vrijednosti iznose prema tome: $\mathfrak{I}_1 = 10$ mA, $\mathfrak{I}_2 = 3$ mA i $\mathfrak{I}_3 = 1$ mA, a kružne frekvencije su ω, 2ω, 3ω. Grafičkim zbrajanjem odnosno odbijanjem momentanih vrijednosti svih triju krivulja (vidi na primjer dio I, odsjek 20) dobivamo krivulju $i = 10 \cdot \sin \omega t + 3 \cdot \sin 2\omega t + \sin 3\omega t$. Vidimo odmah da izmjenična struja i nije više sinusoidnog oblika. Obratno možemo ustvrditi da se nesinusoidna izmjenična struja »i« može rastaviti na tri izmjenične struje sinusoidnog oblika i_1, i_2, i i_3, koje imaju različite tjemene vrijednosti i kružne frekvencije. Ova činjenica, kao što je to dokazao Fourier (čitaj Furije)[14]) vrijedi sasvim općenito: *Svako periodičko titranje može se sastaviti od beskonačno mnogo sinusoidnih titranja, koja se odvijaju istodobno i bez međusobnog smetanja. Ova sinusoidna titranja imaju jednostruku, dvostruku, trostruku itd. frekvenciju promatranog titranja.* Rastavljanje bilo kojeg titranja na pojedinačna sinusoidna titranja nazivamo *rastavljanjem po Fourieru*, odnosno *harmoničkom analizom*. Sinusoidno titranje, koje ima istu frekvenciju kao i promatrano titranje, nazivamo *osnovnim valom*. Sinusoidna titrajna s višim frekvencijama nazivamo *nadvalovima* i to: sinusoidni titraj d v o s t r u k e frekvencije p r v i m n a d v a l o m, t r o s t r u k e f r e k v e n c i j e d r u g i m n a d v a l o m itd. Umjesto toga možemo govoriti i o *harmonicima*. Osnovni val se označuje tada kao prvi harmonik, prvi nadval kao drugi harmonik, drugi nadval kao treći harmonik itd. Velika je prednost harmoničke analize ta što je i kod najzamršenijih pojava titranja dovoljno promatrati samo čista sinusoidna titranja. Inače jedva da bi bilo moguće istraživanje složenijih pojava titranja.

110. — Da bismo dobili neku predodžbu o faktoru izobličenja (vidi odsjek 108) postavit ćemo odnos između nastalih nadvalova prema osnovnom valu. Tako dobivamo *faktor izobličenja k*, za koji vrijedi ova jednadžba:

faktor izobličenja: = $\sqrt{\textit{suma kvadrata tjemenih vrijednosti nadvalova}}$: *tjemena vrijednost osnovnog vala*, ili slovima:

$$k = \frac{\sqrt{\mathfrak{I}_2^2 + \mathfrak{I}_3^2 + \mathfrak{I}_4^2 + \ldots}}{\mathfrak{I}_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (54)$$

Ista jednadžba vrijedi također za efektivne vrijednosti, i to ne samo za izmjeničnu struju, nego i za izmjenične napone i općenito za sve veličine kod izmjeničnih struja. Može se faktor izobličenja izračunati i za svaki p o j e d i n i nadval posebno; na primjer za prvi nadval $k_2 = \mathfrak{I}_2/\mathfrak{I}_1$, za drugi nadval: $k_3 = \mathfrak{I}_3/\mathfrak{I}_1$ itd. Za naš primjer u odsjeku 109. i sl. 80. imamo: $\mathfrak{I}_1 = 10$ mA, $\mathfrak{I}_2 = 3$ mA, $\mathfrak{I}_3 = 1$ mA, te je prema jedn. (54): $k = \sqrt{9 + 1}/10 = 0{,}316 = 31{,}6\%$. Za prvi nadval (drugi harmonik) bit će: $k_2 = \mathfrak{I}_2/\mathfrak{I}_1 = 3/10 = 0{,}30 = 30\%$, a za drugi nadval (treći harmonik): $k_3 = \mathfrak{I}_3/\mathfrak{I}_1 = 1/10 = 0{,}10 = 10\%$.

---

[14]) Francuski matematičar (1768—1830)

111. — Potrebno je upoziriti da faktor izobličenja nije savršena jednoznačna mjera za kvalitetu tona, dakle za čujnost izobličenja, jer ne kaže ništa o vrsti nelinearnog izobličenja. U prvom redu on ne uzima u obzir činjenicu da se pri reprodukciji govora i glazbe ne radi o pojedinačnim tonskim frekvencijama, nego uvijek o nekoj mješavini mnogih tonskih frekvencija. Djeluju li na primjer dva izmjenična napona različitih frekvencija istodobno na ulazni krug elektronke nekog pojačala, stvorit će se u izlaznom krugu uslijed nelinearne radne karakteristike elektronke ne samo harmonički nadtonovi, nego i neharmonički *kombinirani* tonovi koji su za uho mnogo neugodniji nego harmonički nadtonovi. Kombinirani tonovi imaju frekvenciju koja je jednaka zbroju i razlici obiju ulaznih frekvencija, kao i zbroju i razlici osnovnih valova i nadvalova ulaznih frekvencija. U našem primjeru stvorit će se dakle *»tonovi suma«* s frekvencijom $f_1 + f_2$, $f_1 + 2f_2$, $f_1 + 3f_2$ itd., $f_2 + 2f_1$, $f_2 + 3f_1$ itd. i nadalje *»tonovi diferencija«* s frekvencijama $f_1 - f_2$, $2f_1 - f_2$, $3f_1 - f_2$ itd., zatim $2f_2 - f_1$, $3f_2 - f_1$ itd., te osim toga čisti nadtonovi s frekvencijama $2f_1$, $3f_1$ itd., $2f_2$, $3f_2$ itd., to jest nastat će jedna nepregledna mješavina novih i nepoželjnih frekvencija. Viši nadtonovi i kombinirani tonovi neće se toliko primijetiti zbog svojih malih amplituda. Možemo sebi predstavit kako je nemoguće prigodom prijenosa neke orkestralne glazbe snaći se još i u ovoj zbrci frekvencija. Iz ovih razmatranja vidi se vrlo dobro kako je važno da se izbjegnu nelinearna izobličenja. Tome treba dodati da nelinearna izobličenja mogu nastati ne samo u elektronki pojačala, nego i u zvučniku, mikrofonu, zvučnici itd.

Ponavljanje

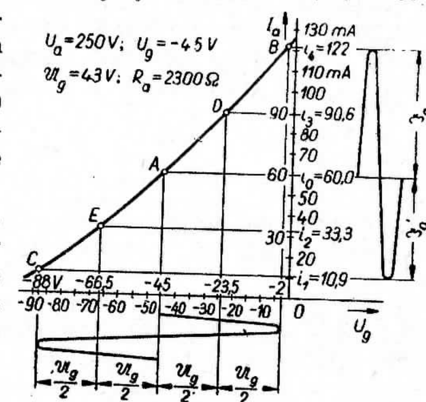
Zakrivljenje radne karakteristike neke elektronke uzrokuje *izobličenje oblika* ili *nelinearno izobličenje* anodne izmjenične struje i anodnog izmjeničnog napona. U izobličenom anodnom izmjeničnom naponu nije sadržan samo osnovni val, nego i čitav niz nadvalova, koji u prvotnom izmjeničnom naponu na rešetki uopće nisu sadržani. Uslijed toga poprima reprodukcija glazbe i govora neprirodnu boju zvuka. Općenito uzevši može se svako periodičko titranje rastaviti na beskonačan niz sinusoidnih titranja sa jednostrukom, dvostrukom, trostrukom itd. frekvencijom faktičnog titranja, dakle na *osnovni val* i bezbroj *nadvalova (»harmonička analiza«)*. Kao mjera za veličinu nelinearnog izobličenja služi faktor izobličenja, koji je jednak odnosu korijena sume kvadrata tjemenih vrijednosti nadvalova prema tjemenoj vrijednosti osnovnog vala. Faktor izobličenja nije međutim jednoznačna mjera za dobrotu zvuka (kvalitetu tona), jer osim nepoželjnih novih nadtonova nastaju i *kombinirani tonovi* kojih se frekvencija sastoji od zbroja i razlike prvotnih osnovnih frekvencija i njihovih nadvalova.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što su nelinearna izobličenja? *Odgovor:* Izobličenja oblika krivulje prvotnog titraja, dakle izobličenja oblika. — *P.:* Kako nastaju nelinearna izobličenja? *O.:* Uslijed zakrivljenosti karakteristike na primjer elektronke, transformatora, zvučnika, zvučnice itd. — *P.:* Kako se može rastaviti izobličen periodični titraj? *O.:* U osnovni titraj

s frekvencijom prvotnog titraja i beskonačan niz nadtitraja s dvostrukom, trostrukom itd. frekvencijom. — *P.:* Kako nazivamo ovaj postupak rastavljanja? *O.:* Harmoničkom analizom. — *P.:* Zbog čega djeluju osobito neugodno nelinearna izobličenja pri reprodukciji glazbe? *O.:* Zbog toga, što uslijed ovog izobličenja nastaju nadvalovi koji u prvotnom zvuku uopće nisu sadržani. — *P.:* Kako se može izraziti nelinearno izobličenje brojkama? *O.:* Faktorom izobličenja, to jest odnosom korijena sume kvadrata tjemenih vrijednosti nadvalova prema tjemenoj vrijednosti osnovnog vala. — *P.:* Ovise li nelinearna izobličenja samo o faktoru izobličenja? *O.:* Ne, jer se stvaraju također još kombinirani tonovi. — *P.:* Kako nastaju kombinirani tonovi? *O.:* Superpozicijom osnovnog prvotnog titraja s nadtitrajima, koji su nastali uslijed nelinearnog izobličenja (tonovi suma i diferencija).

112. — Faktor izobličenja uzrokovan zakrivljenošću radne karakteristike elektronke može se prilično tačno odrediti na jednostavan način iz U_g—I_a-karakteristika. Na sl. 81. prikazana je U_g—I_a-karakteristika izlazne triode (AD 1) za opteretni otpor $R_a = 2\,300\ \Omega$. Radna tačka A određena je ovim veličinama: $U_a = 250$ V, $U_g = -45$ V, $I_a = 60$ mA, $N_a = U_a \cdot I_a = 250 \cdot 0{,}060 = 15$ W. Ova izlazna elektronka uzbuđivana je do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, a ta se nalazi otprilike kod $U_g = -2$ V. Tjemena vrijednost izmjeničnog napona na rešetki bit će dakle $\mathfrak{U}_g = 43$ V, to jest napon rešetke se mijenja između —2V i —83 V. Uslijed toga nastaje na već poznat način anodna izmjenična struja, koja se mijenja oko anodne struje mirovanja $I_a = i_0 = 60$ mA. Vidimo da su tjemene vrijednosti anodne izmjenične struje različite, naime $\mathfrak{J}_a = (122—60) = 62$ mA, a $\mathfrak{J}_a' = 60—10{,}9 = 49{,}1$ mA. Da bismo odredili faktor izobličenja anodne izmjenične struje podijelit ćemo područje napona rešetke (od —2 V do —88 V) na četiri jednaka dijela, svaki od $\mathfrak{U}_g/2 = 21{,}5$ V (vidi sl. 81 dolje) i kroz tako dobivenih pet tačaka napona na rešetki povući okomice na $\mathfrak{U}_g$-os. Na taj ćemo način na radnoj karakteristici dobiti pet sjecišta B, D, A, E, C. Ovim sjecištima odgovaraju veličine anodne struje $i_4 = 122$ mA, $i_3 = 90{,}6$ mA, $i_0 = 60{,}0$ mA, $i_2 = 33{,}3$ mA, $i_1 = 10{,}9$ mA. Na temelju dužeg, ali ovdje izostavljenog izvoda, dobivaju se za tjemene vrijednosti osnovnog vala, kao i za prvi i drugi nadval izobličene krivulje anodne izmjenične struje (vidi odsjeke 109 i 110):



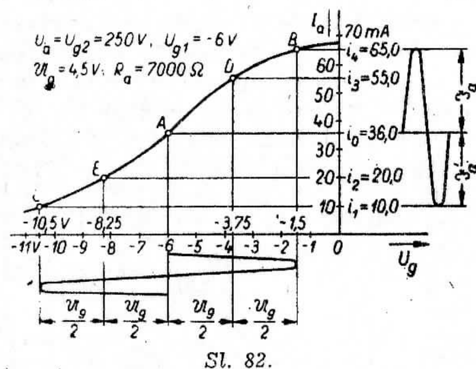
Sl. 81.

$$\mathfrak{J}_1 = \frac{i_3 + i_4 - (i_1 + i_2)}{3} \quad \ldots \ldots \quad (55)$$

$$\mathfrak{J}_2 = \frac{2 \cdot i_0 - (i_1 + i_4)}{4} \quad \ldots\ldots (56)$$

$$\mathfrak{J}_3 = \frac{2 \cdot (i_3 - i_2) - (i_4 - i_1)}{6} \quad \ldots\ldots (57)$$

113. — Uvrstimo u ove jednadžbe spomenute vrijednosti iz našeg primjera za osnovni val $\mathfrak{J}_1 = 56{,}1$ mA, za p r v i n a d v a l $\mathfrak{J}_2 = 3{,}23$ mA[15]) a za d r u g i n a d v a l $\mathfrak{J}_3 = 0{,}58$ mA. Iz jedn. (54) kao ukupni faktor izobličenja dobivamo: $k = \sqrt{\mathfrak{J}_2^2 + \mathfrak{J}_3^2}/\mathfrak{J}_1 = \sqrt{3{,}23^2 + 0{,}58^2}/56{,}1 = 0{,}059 = 5{,}9\%$. Nadalje je prema odsjeku 110. faktor izobličenja prvog nadvala: $k_2 = \mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1 = 3{,}23/56{,}1 = 0{,}058 = 5{,}8\%$ i faktor izobličenja drugog nadvala: $k_3 = \mathfrak{J}_3/\mathfrak{J}_1 = 0{,}58/56{,}1 = 0{,}001 = 0{,}1\%$. Vidimo da se ukupno izobličenje sastoji gotovo isključivo od p r v o g nadvala, to jest d r u g o g harmonika. To je osobita značajka svih trioda. Opisanim načinom mogu se samo tada postići donekle tačni rezultati, ako je radna karakteristika doista tačno snimljena ili dobivena iz U_a—I_a-karakteristika (vidi odsjeke 40 do 43). Osim toga potrebno je sliku nacrtati u mnogo većem mjerilu (mnogo većem nego na sl. 81) da bi se veličine struja i napona mogle što tačnije očitati.



Sl. 82.

114. — Daljnji primjer, i to za i z l a z n u p e n t o d u (AL 4), prikazan je na sl. 82. Vidimo odmah da radna karakteristika ima posve drugi oblik nego kod izlazne triode (usporedi sl. 81). Pogonski su uvjeti: $U_a = U_{g2} = 250$ V (U_{g2} = napon zaštitne rešetke, vidi dio I, odsjek 277), $U_{g1} = -6$ V (napon uzbudne rešetke), $I_a = 36$ mA, $R_a = 7\,000\ \Omega$, $N_a = U_a \cdot I_a = 250 \cdot 0{,}036 = 9$ W. Uzbudni napon iznosi $\mathfrak{U}_g = 4{,}5$ V, jer pri naponu rešetke $U_{g1} = -1{,}5$ V treba već računati s pojavom rešetkine struje (usporedi dio I, odsjek 263). Postupimo li ovdje isto onako kao na sl. 81., dobit ćemo izobličenu anodnu izmjeničnu struju s tjemenim vrijednostima $\mathfrak{J}_a = (65 - 36) = 29$ mA, i $\mathfrak{J}_a' = (36 - 10) = 26$ mA. Prema postupku prikazanom u odsjeku 113. i jedn. (55) do (57) dobivamo za tjemenu vrijednost osnovnog vala: $\mathfrak{J}_1 = 30{,}0$ mA, i nadvalova $\mathfrak{J}_2 = 0{,}75$ mA, $\mathfrak{J}_3 = 2{,}50$ mA, dakle prema jedn. (54) faktor izobličenja iznosi: $k = \sqrt{0{,}75^2 + 2{,}5^2}/30{,}0 = 0{,}087 = 8{,}7\%$. Nadalje će biti $k_2 = \mathfrak{J}_2/\mathfrak{J}_1 = 0{,}75/30{,}0 = 0{,}025 = 2{,}5\%$ i $k_3 = \mathfrak{J}_3/\mathfrak{J}_1 = 2{,}5/30{,}0 = 0{,}083 = 8{,}3\%$. Kod izlazne pentode, za razliku od izlazne triode, glavni se dio izobličenja anodne izmjenične struje sastoji u d r u g o m nadvalu, to jest u t r e ć e m harmoniku. Ovo se može smatrati osobitom značajkom svih pentoda uopće. Tome je uzrok u karakteristici oblika slova S (gornje koljeno!). Radna karakteristika ima dakle zakretnu tačku koja leži u blizini radne tačke A (vidi također odsjek 122).

[15]) Zapravo se dobiva $\mathfrak{J}_2 = -3{,}23$ mA, no negativni predznak izostavljamo.

115. — Dosadašnja razlaganja jasno su pokazala da je faktor izobličenja neke elektronke u biti određen veličinom p r v o g nadvala sa dvostrukom frekvencijom osnovnog vala (kod triode!), odnosno veličinom d r u g o g nadvala sa trostrukom frekvencijom osnovnog vala (kod pentode!). Faktori izobličenja još viših nadvalova mogu se kod elektronke zanemariti. Budući da osjetljivo i uvježbano uho već faktor izobličenja od 5% osjeća neugodno, *ne smije faktor izobličenja kvalitativnih uređaja za reprodukciju glazbe biti veći od 5%, niti u punoj snazi (najveće glasnoće)*. Osobito kvalitativni uređaji za snimanje (mikrofoni, pojačala, itd.) radiodifuznih stanica rade štaviše s faktorom izobličenja manjim od 1%, dok ukupni faktor izobličenja kvalitativnog radiodifuznog odašiljača smije kod 70%-tne modulacije iznositi najviše 4%. Kod izlaznih pentoda dozvoljava se kod pune snage često i faktor izobličenja od 10%, jer bi inače snaga bila suviše malena. Konačno treba naglasiti da faktor izobličenja neke elektronke nije konstantna veličina, nego je ovisan o opteretnom otporu u anodnom krugu i o izlaznoj snazi (vidi odsjek 118).

Ponavljanje

Faktor izobličenja neke elektronke može se na jednostavan način dovoljno tačno odrediti pomoću radne karakteristike u U_g—I_a-dijagramu. Pri tome treba paziti da mjerilo slike bude dosta veliko, kako bi se vrijednosti struja i napona mogle dobro očitavati. Faktor izobličenja neke t r i o d e uglavnom je određen prvim nadvalom (drugim harmonikom), dok kod p e n t o d e glavni udio u izobličenju ima drugi nadval (treći harmonik). Od kvalitativnog uređaja za reprodukciju glazbe traži se da faktor izobličenja bude manji od 5%. Kod izlaznih pentoda dozvoljava se često faktor izobličenja do 10%. Faktor izobličenja ovisan je o pogonskim uvjetima elektronke, dakle o opteretnom otporu u anodnom krugu, i o izlaznoj snazi.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može najjednostavnije odrediti faktor izobličenja neke elektronke? *Odgovor:* Pomoću radne linije u U_g—I_a-dijagramu. — *P.:* Na kojoj se zamisli osniva postupak određivanja faktora izobličenja? *O.:* U U_g—I_a-dijagramu treba uzbudni napon na radnoj liniji podijeliti na četiri jednaka dijela i svakoj vrijednosti napona rešetke odrediti pripadnu anodnu struju. Pomoću posebnih jednadžbi izračunava se iz ovih vrijednosti anodnih struja tjemena vrijednost osnovnog vala i nadvalova, iz kojih se tada dobiva faktor izobličenja. — *P.:* Koja razlika postoji između trioda i pentoda s obzirom na nelinerna izobličenja? *O.:* Kod trioda nastaju nelinearna izobličenja uglavnom zbog prvog nadvala (drugog harmonika), a kod pentoda zbog drugog nadvala (trećeg harmonika). —

P.: Čime se objašnjava nastajanje trećeg harmonika kod pentoda *O.*: Radnom krivuljom u U_g—I_a-dijagramu, koja ima oblik slova S. — *P.*: Koliki smije biti faktor izobličenja kod kvalitativnih uređaja za prijenos glazbe? *O.*: Maksimalno 5% pri najvećoj izlaznoj snazi.

Pitanja

54. Kakva je razlika između linearnih i nelinearnih izobličenja?
55. Što su »harmonici«?
56. U čemu se razlikuju radne karakteristike izlazne triode i izlazne pentode u U_g—I_a-dijagramu?

Zadaci

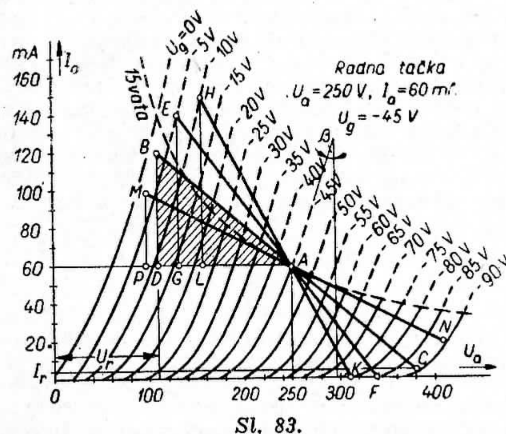
41. Pri izobličenom izmjeničnom naponu iznosi tjemena vrijednost osnovnog vala 120 V, prvog nadvala 45 V, drugog nadvala 10 V i trećeg nadvala 2 V: a) Koliki je ukupni faktor izobličenja? b) Koliki su faktori izobličenja pojedinih nadvalova?
42. Izračunaj tjemenu vrijednost osnovnog vala i obaju nadvalova kod izobličene anodne izmjenične struje prikazane na sl. 82!

Jednostavni izlazni stupanj s triodom

116. — Izračunavanje izmjenične snage $\mathfrak{N}_a$ (govorne snage) neke izlazne elektronke iz trokuta snage *ABD* (vidi odsjek 106 i sl. 79 i 83) tačno je samo tada ako nema nikakvih izobličenja ($k = 0$). Inače je za izračunavanje $\mathfrak{N}_a$ potrebno iz izobličene krivulje anodne izmjenične struje izlučiti osnovni val. Umjesto jedn. (52) treba tada primijeniti ovu jednadžbu:

$$\mathfrak{N}_a = \frac{\mathfrak{J}_1^2 \cdot R_a}{2} \quad \dots\dots\dots \quad (58)$$

Za primjer u odsjecima 112 i 113. dobivamo: $\mathfrak{N}_a = 0{,}0561^2 \cdot 2300/2 = 3{,}6$ W



Sl. 83.

Računamo li jednostavno samo s tjemenom vrijednošću anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a = 62$ mA = 0,062 A, dobit ćemo prema jedn. (52) $\mathfrak{N}_a = 0{,}062^2 \cdot 2\,300/2 = 4{,}3$ W. Kod izlaznih trioda, kod kojih se faktor izobličenja uglavnom sastoji od drugog harmonika (prvog nadvala; vidi odsjek 113), praktički zadovoljava ako se za $\mathfrak{J}_1$ uvrsti srednja vrijednost iz gornje i donje tjemene vrijednosti $\mathfrak{J}_a$, odnosno $\mathfrak{J}_a'$ (vidi sl. 81). Za primjer u odsjeku 112. tada dobivamo: $\mathfrak{J}_1 = (\mathfrak{J}_a + \mathfrak{J}_a')/2 = (62{,}0 + 49{,}1)/2 = 55{,}6$ mA. Prema jedn. (58): $\mathfrak{N}_a = 0{,}0556^2 \cdot 2300 = 3{,}6$ W, dakle praktički isti rezultat koji smo dobili prije. Kod izlaznih pentoda ne smije

se međutim računati s ovom srednjom vrijednošću, jer je treći harmonik (drugi nadval!) suviše jak i uslijed toga je tjemena vrijednosti osnovnog vala $\mathfrak{J}_1$ veća nego tjemena vrijednost ukupne anodne izmjenične struje (vidi odsjek 114). Izračuna li se dakle izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ neke izlazne pentode jednostavno po jedn. (52), dobit će se radi $\mathfrak{J}_a < \mathfrak{J}_1$ premalena vrijednost za izmjeničnu snagu. Ova odstupanja mogu biti prilično velika. Ona su to veća, što je izmjenični napon rešetke $\mathfrak{U}_g$ veći, to jest što je veći treći harmonik. Između ostalog potrebno je reći da se snaga izračunana iz tjemene vrijednosti osnovnog vala $\mathfrak{J}_1$ prema jedn. (58) praktički dosta tačno podudara s ukupnom izlaznom snagom. Kako izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ uz isti opteretni otpor $\mathfrak{R}_a$ prema jedn. (52) raste s kvadratom anodne izmjenične struje, povisit će neki nadval kojemu tjemena vrijednost iznosi na primjer 10% od tjemene vrijednosti osnovnog vala, izmjeničnu snagu samo za $0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}01$, dakle za 1%.

117. — Vratimo se ponovo na pitanje *najpovoljnijeg prilagodnog otpora* (vidi odsjek 107) i promotrimo u tu svrhu sl. 83. Ovdje su prikazane U_a—I_a-karakteristike neke izlazne triode (AD 1), kojoj je radna tačka određena ovim vrijednostima: $U_a = 250$ V, $I_a = 60$ mA, $U_g = -45$ V, $N_a = 15$ W, $\mathfrak{U}_g = 43$ V (usporedi odsjek 112.). Uzet ćemo kao i do sada da omski otpor potrošača leži u izlaznom krugu izlaznog transformatora, te djeluje kao omski opteretni otpor R_a u anodnom krugu izlazne triode (vidi sl. 78). Zbog što manjeg faktora izobličenja moramo radni pravac kroz radnu tačku *A* položiti tako da uvijek U_a—I_a-karakteristike na radnom pravcu odsijecaju po mogućnosti jednake dijelove. U ovom slučaju bit će tome udovoljeno uz opteretni otpor $R_a = 2\,300\ \Omega$ (radni pravac *BC*). Ovaj je otpor ujedno najpovoljniji prilagodni otpor. Unutarnji otpor elektronke prema dijelu I, odsjek 269. u radnoj tački iznosi: $tg\,\beta = 90\ \text{V}/0{,}120\ \text{A} = 750\ \Omega$. Prema tome se dobiva: $R_a/R_i = 2300/750 \approx 3$. Tako je $R_a \approx 3 \cdot R_i$, dakle ne više $R_a = R_i$. Što je R_a manje, to će radni pravac biti strmiji i to će dalje zasijecati u zakrivljeni dio karakteristika, to jest to će veći biti faktor izobličenja (izobličenje prohvata; vidi odsjek 107). Ovo se jasno vidi iz sl. 82, kod radnog pravca *EF* za R_a jednako je $1\,500\ \Omega$, i *HK* za $R_a = 1\,000\ \Omega$. Za veći R_a, na primjer $R_a = 4\,000\ \Omega$ (radni pravac *MN*) bit će radni pravac položeniji, tako da će se elektronka moći uzbuditi bez znatnijeg izobličenja u većem području napona rešetke (vidi također sl. 85 i odsjek 118), no pri tome će izlazna snaga biti manja.

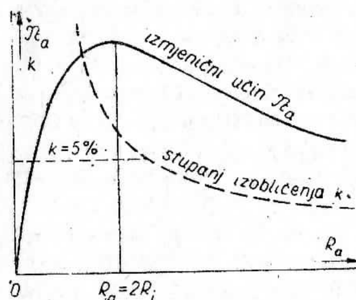
Ponavljanje

Ako faktor izobličenja neke izlazne elektronke nije posve malen, računa se izlazna snaga prema jednadžbi: $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{J}_1^2 \cdot R_a/2$, pri čemu je $\mathfrak{J}_1$ tjemena vrijednost osnovnog vala (prvog harmonika) izobličene anodne izmjenične struje. Kod izlaznih trioda dovoljno je za $\mathfrak{J}_1$ uvrstiti srednju vrijednost iz obiju tjemenih vrijednosti anodne izmjenične struje. Ako neka izlazna trioda treba da radi sa što manjim izobličenjem, tada opteretni otpor R_a mora da bude veći od unutarnjeg otpora elektronke R_i. Što se veći odabre R_a, to će manji biti faktor izobličenja, ali i manja izlazna snaga. **U_a—I_a-karakteristike moraju na radnom pravcu odsijecati jednake dijelove.**

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kojom se jednadžbom izračunava snaga neke izlazne elektronke kod izobličene anodne izmjenične struje? *Odgovor:* $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{J}_1^2 \cdot R_{\cdot}/2$. — *P.:* Što označuje $\mathfrak{J}_1$?. *O.:* Tjemenu vrijednost osnovnog vala izobličene anodne izmjenične struje. — *P.:* Kojom se vrijednošću može $\mathfrak{J}_1$ nadomjestiti kod izlaznih trioda? *O.:* Srednjom vrijednošću između gornje i donje tjemene vrijednosti izobličene anodne izmjenične struje. — *P.:* Na što treba paziti pri određivanju najpovoljnijeg radnog pravca, odnosno najpovoljnijeg otpora? *O.:* U_a—I_a-karakteristike moraju na radnom pravcu odsijecati jednake dijelove, kako bi faktor izobličenja bio što manji. — *P.:* Koliki treba da bude opteretni otpor neke izlazne triode, da izlazna snaga bude po mogućnosti bez izobličenja? *O.:* *Veći* od unutarnjeg otpora elektronke. — *P.:* Koji utjecaj ima veličina opteretnog otpora na faktor izobličenja i izlaznu snagu? *O.:* Što je veći opteretni otpor, to će manji biti faktor izobličenja, a i izlazna snaga. Ako je opteretni otpor premalen, onda treba računati sa znatnim faktorom izobličenja i s malom izlaznom snagom.

118. — Na sl. 83. ucrtani su trokuti snage za razne opteretne otpore R_a = 1 000 Ω, 1 500 Ω, 2 300 Ω i 4 000 Ω[16]). Izračunamo li površinu trokuta ustanovit ćemo da za slučaj da je R_a = 1 500 Ω = 2·R_i, trokut snage *AEG ima najveću* površinu[17]). No u tom su slučaju izobličenja prema odsjeku 117. znatno veća nego kod najpovoljnijeg opteretnog otpora $R_a \approx 3\,R_i$. *Za opteretni otpor $R_a = 2 \cdot R_i$ dobiva se uzevši u obzir pogonske uvjete izlazne triode, najveća izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$, no bez obzira na izobličenje!* Što je veći R_a prema 2·R_i, to manji je $\mathfrak{N}_a$ i to manje je izobličenje. Što je manji R_a prema 2 · R_i, to će manji biti također $\mathfrak{N}_a$, dok faktor izobličenja uslijed velike zbijenosti karakteristika kod malenih anodnih struja znatno naraste. Ovo se vidi iz dijagrama na sl. 84., koji vrijedi za slučaj da je izlazna trioda uzbuđivana do tačke u kojoj se pojavljuje struja rešetke. Izvučena krivulja pokazuje kako izlazna snaga kod R_a=2·R_i ima najveću vrijednost, a zatim s porastom opteretnog otpora R_a *lagano* opada. Iz crtkane krivulje vidi se da faktor izobličenja *k* s porastom R_a pada brže nego $\mathfrak{N}_a$. *Ako želimo što kvalitativniju reprodukciju (faktor izobličenja manji od 5%) moramo se odreći najveće snage.* Pri tome dio anodnog napona U_r *kao ostatak napona* (vidi odsjek 105) i dio anodne tjemena vrijednost izmjeničnog napona na rešetki smije iznositi samo struje I_1 kao *ostatak struje* ostaje kod uzbuđivanja elektronke neiskorišten (vidi sl. 83). *Kod izlaznih trioda odabire se najpovoljniji prilagodni otpor*

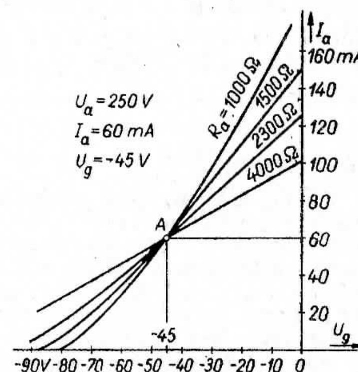


Sl. 84.

[16]) Ovi trokuti zbog izobličenja ne predstavljaju sasvim tačno izlaznu snagu (vidi odsjek 116).

[17]) Budući da je anodna struja kod U_g = —85 V već jednaka nuli, $\mathfrak{U}_g$ = 40 V.

tako da bude R_a = 2 do 4 R_i. Ako nije potrebno da izlazna trioda bude potpuno uzbuđena, to jest ako se zadovoljavamo s manjom izlaznom snagom, onda je potrebno da kod zadanog izmjeničnog napona na rešetki bude $R_a = R_i$. Kod slabog se naime uzbuđenja može računati da se radi praktički bez izobličenja, to jest nije potrebno da budu ispunjeni nikakvi osobiti uvjeti (vidi odsjek 107). Na žalost ne može se postaviti neko općenito pravilo za najpovoljniji izbor radnog pravca, jer taj ovisi mnogo o specifičnim svojstvima pojedine izlazne triode. Vidjeli smo da se u U_a—I_a-dijagramu može lako naći pokusnim ucrtavanjem najpovoljniji pravac. Na sl. 85. prikazane su u U_g—I_a-dijagramu radne karakteristike za različite opteretne otpore (usporedi sl. 37 i odsjek 43). Vidimo da se s porastom opteretnog otpora karakteristike zakreću oko radne tačke A u smjeru kazaljke na satu i pri tome postaju sve ravnije (manja izobličenja).



Sl. 85.

119. — Za srednju jakost zvuka u sobi potrebna je snaga od 0,2 do 0,5 W. Veličina izlazne elektronke koja dobavlja snagu ne određuje se samo prema stupnju iskoristivosti zvučnika, nego i prema različitoj glasnoći glazbe koja se reproducira. Da bi najglasnija mjesta neke glazbene izvedbe zvučila čisto, bez izobličenja, potrebna je deseterostruka snaga od gore spomenute. Zato se preporučuje da se upotrebi što jača izlazna elektronka, koja će doduše prosječno biti slabo uzbuđena, ali da se ima obilna rezerva snage za najglasnija mjesta. Prema tome je potrebno da najveća snaga bez izobličenja kod izlazne elektronke *bude bar 3 W.* U slijedećoj tablici dani su najvažniji pogonski podaci za *nekoliko izlaznih trioda* i to: anodni istosmjerni napon U_a, anodna struja mirovanja I_a, prednapon rešetke U_g, najveće dopustivo opterećenje anode N_a, unutarnji otpor elektronki R_i, najpovoljniji prilagodni otpor R_a, tjemena vrijednost $\mathfrak{U}_g$ izmjeničnog napona na rešetki potrebna za najveću izlaznu snagu, izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ (za k = 5%) i stupanj iskoristivosti $\eta = \mathfrak{N}_a/N_a$:

	U_a	I_a	U_g	N_a	R_i	R_a	$\mathfrak{U}_g$	$\mathfrak{N}_a$	η
RE 134	250 V	12 mA	—17 V	3 W	4,6 kΩ	12 kΩ	16 V	0,65 W	22%
RE 304	250 V	20 mA	—32 V	5 W	2,6 kΩ	5,2 kΩ	31 V	1,1 W	22%
RE 604	250 V	40 mA	—45 V	10 V	1,4 kΩ	3,5 kΩ	38 V	1,7 W	17%
AD 1	250 V	60 mA	—45 V	15 W	0,7 kΩ	2,3 kΩ	43 V	4,2 W	28%

Potrebno je posebno naglasiti da se kod ovih podataka radi o *prosječnim* vrijednostima. Pri tome treba paziti da se ne prekorače vrijednosti za U_a i N_a. Iz ovih se podataka jasno vidi da izlazne triode RE 134 (odnosno L 413) RE 304 (odnosno LK 430) i RE 604 (odnosno LK 460) ne zadovoljavaju današnje zahtjeve za reprodukcijom bez izobličenja kod većih jakosti zvuka. Ako prijemnik ili pojačalo u izlaznom stupnju radi s triodom, potrebno je za srednju glasnoću u sobi upotrebiti elektronku kao što je AD 1.

Ponavljanje

Izlazna trioda daje, uzevši u obzir pogonske uvjete, najveću izlaznu snagu onda ako je opteretni otpor jednak dvostrukom unutarnjem otporu ($R_a = 2\,R_i$). Pri tome nije uzeta u obzir veličina izobličenja. Ako je potrebno neku izlaznu triodu uzbuđivati do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, i uz to da daje maksimalnu snagu *bez izobličenja* (faktor izobličenja manji od 5%), opteretni otpor mora da bude 2 do 4 puta veći od unutarnjeg otpora elektronke (R_a=2 do 4 R_i). Što je veći R_a prema 2 R_i to će manja biti izlazna snaga, ali i faktor izobličenja. Smanjivanjem R_a prema 2 R_i opadat će izlazna snaga, a faktor izobličenja će znatno porasti. Izlazna elektronka običnog kućnog prijemnika ili pojačala treba dá kod najglasnije reprodukcije na zvučnik daje bez izobličenja snagu od najmanje 3 W.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto ne vrijedi općenito pravilo prilagođenja $R_a = 2\,R_i$ za dobivanje najveće snage od neke izlazne triode? *Odgovor:* Zato što taj uvjet ne uzima u obzir nastala izobličenja. — *P.:* Kakó treba odabrati najpovoljniji opteretni otpor neke izlazne triode uzbuđene do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, a da se pri tome postigne maksimalna izlazna snaga bez izobličenja? *O.:* Potrebno je da je R_a = 2 do 4 R_i. — *P.:* Koji je nedostatak vezan uz ovo najpovoljnije prilagođenje? *O.:* Izlazna trioda ne daje maksimalnu snagu, koja bi se mogla postići bez obzira na izobličenje. — *P.:* Kako ovisi izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ i faktor izobličenja k o opteretnom otporu kod neke izlazne triode? *O.:* Što je veći R_a prema 2 R_i, to će manji biti N_a i k. Što je R_a prema 2 R_i manji, to će manji biti i $\mathfrak{N}_a$, dok k brzo raste. — *P.:* Koja je prosječna snaga potrebna, da se dobije srednja jakost zvuka u sobi? *O.:* 0,2 do 0,5 W. — *P.:* Kolika treba da je najveća snaga bez izobličenja kod izlazne triode? *O.:* Najmanje 3 W.

Pitanja

57. Što razumijevamo pod ostatkom struje pri uzbuđivanju neke izlazne triode?

58. Kako se mijenja radna karakteristika u U_g—I_a-dijagramu neke izlazne elektronke pri različitim opteretnim otporima?

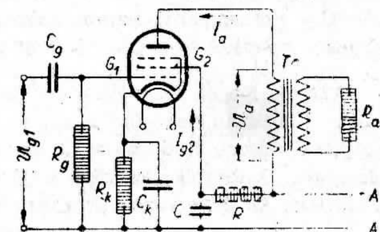
Zadaci

43. Izlazna trioda daje uz normalni otpor od 1,4 kΩ snagu od 1,7 W. Najpovoljniji prilagodni otpor u anodnom krugu je 2,5 puta veći od unutarnjeg otpora. Koju tjemenu vrijednost ima osnovni val izmjenične struje?

44. Dvije izlazne triode RE 604 (vidi tablicu u odsjeku 119) zbog povećanja izlazne snage spojene su paralelno: a) kolika je ukupna izlazna snaga? b) koliko je ukupno opterećenje anoda? c) koliki je stupanj iskoristivosti η? d) koliki je najpovoljniji prilagodni otpor?

Jednostavan izlazni stupanj sa pentodom

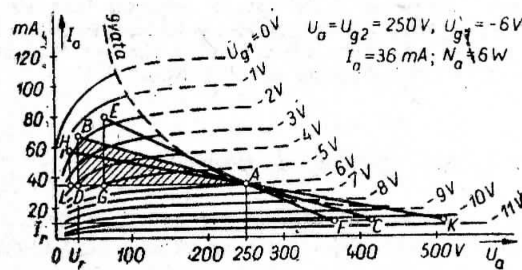
120. — U izlaznim stupnjevima prijemnika i pojačala najviše se upotrebljavaju pentode, jer one imaju veći faktor pojačanja nego triode (vidi odsjek 102). Na sl. 86. prikazan je spoj takvog izlaznog stupnja. Ulazni izmjenični napon (uzbudni napon) $\mathfrak{U}_{g1}$ dolazi preko kondenzatora C_g i odvodnog otpora rešetke R_g na uzbudnu rešetku pentode G_1 (usporedi dio I, odsjek 277 i sl. 211). Na katodnom otporu R_k premoštenjem katodnim kondenzatorom C_k nastaje automatski prednapon za uzbudnu rešetku ove pentode (vidi odsjek 72). Zaštitna rešetka G_2 priključena je direktno na anodni istosmjerni napon +*A*. Mora li zaštitna rešetka dobivati niži istosmjerni napon nego anoda, potrebno je u odvod zaštitne rešetke spójiti otpor *R*, koji će suvišni istosmjerni napon preuzeti. Veličina *R* računa se po Ohmovom zakonu: *R* = suvišni istosmjerni napon: struja zaštitne rešetke I_{g2}. Budući da preko otpora *R* ne treba da teče nikakva izmjenična struja, spaja mu se paralelno kondenzator *C* (*C*=2 do 4 μF). U anodni krug pentode spojen je izlazni transformator *Tr* koji na izlaznom namotaju ima priključen otpor potrošača R_a (zvučnik, usporedi sl. 78).



Sl. 86.

121. — Na sl. 87. prikazane su U_a—I_a-karakteristike neke izlazne pentode (AL 4). Ove karakteristike imaju sasvim drugi oblik nego kod izlaznih trioda, kao što je to u dijelu I, odsjek 276. i sl. 208. već pokazano (usporedi sl. 83 sa sl. 87). U_a—I_a-karakteristike pentode strmo se penju već kod malenih anodnih istosmjernih napona i prelaze postepeno u gotovo vodoravan položaj. Na veliku početnu strminu djeluje zaštitna rešetka (vidi dio I, odsjek 273), koja svojim p o z i t i v n i m istosmjernim naponom ubrzava elektrone i oni najvećim dijelom prolaze između navoja zaštitne rešetke na anodu[18]). Uslijed toga je i ostatak napona U_r znatno manji nego kod izlaznih trioda (sl. 87). Kod viših anodnih istosmjernih napona ne može anodna struja biti mnogo veća, jer većina elektrona ubrzanih od zaštitne rešetke već dolazi na anodu. U tom području je anodna istosmjerna struja tek neznatno ovisna o anodnom istosmjernom naponu, tako da karakteristike idu skoro paralelno s U_a-osi. Položen

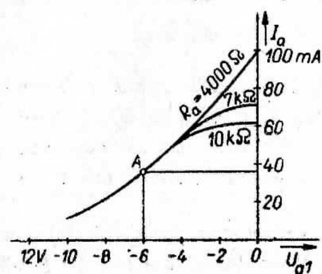
[18]) Struja zaštitne rešetke I_{g2} je razmjerno malena.



Sl. 87.

tok U_a—I_a-karakteristika odgovara velikom unutarnjem otporu izlazne pentode i maloj ovisnosti unutarnjeg otpora o anodnom istosmjernom naponu. Ovdje vidimo sasvim drugačije odnose nego kod izlaznih trioda. Nadalje su na sl. 87. ucrtani r a d n i p r a v c i *EF, BC* i *HK* za opteretne otpore od 4 000 Ω, 7 000 Ω i 10 000 Ω. Radna tačka *A* smještena je na hiperboli opterećenja za $N_a = 9$ W, a određena je ovim pogonskim veličinama: $U_a = U_{g2}$ (istosmjerni napon zaštitne rešetke) = 250 V, U_{g1} (prednapon uzbudne rešetke) = —6 V, I_a = 36 mA, $\mathfrak{U}_{g1}$ = 4,5 V.

122. — Na sl. 88. prikazane su radne karakteristike u U_{g1}—I_a-dijagramu. Suprotno nego što je na sl. 85. ove radne karakteristike za razne opteretne otpore kod malenih anodnih istosmjernih struja praktički se poklapaju. *Dinamička karakteristika u tom području ne razlikuje se dakle od statičke karakteristike (karakteristike kratkog spoja;* usporedi također odsjek 59). Ova činjenica odgovara gotovo vodoravnom toku krivulja u U_a—I_a-dijagramu na sl. 87. Što se v e ć i m odabere opteretni otpor, to više se savijaju radne karakteristike u U_{g1}—I_a-dijagramu kod nižih napona rešetke (sl. 88), jer uz veći otpor postaje anodni napon manji, tako da se i anodna struja s time u vezi snizuje (vidi odsjek 121). Radne karakteristike imaju prema tome oblik slova S, i otprilike u zakretnoj tački ovih krivulja leži radna tačka *A* (usporedi odsjek 114 i sl. 82). Kod m a l e n i h opteretnih otpora, na primjer 4 000 Ω, iščezava zakretna tačka i radna krivulja postaje jednoličnija, tako da poprima praktički isti oblik kao i radna krivulja i z l a z n e t r i o d e.



Sl. 88.

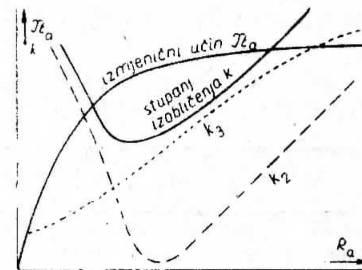
Ponavljanje

U_a—I_a-karakteristike neke i z l a z n e p e n t o d e penju se strmo već kod malenih anodnih istosmjernih napona, a kod većih anodnih istosmjernih napona prelaze postepeno u gotovo vodoravan položaj (veliki unutarnji otpor). Ovo je postignuto djelovanjem pozitivne zaštitne rešetke. Kod opteretnih otpora koji nisu preveliki podudaraju se radne U_{g1}—I_a-krivulje neke izlazne pentode i s p o d radne tačke praktički s krivuljama kod izlazne triode. Što je veći opteretni otpor, to više se radna U_{g1}—I_a-krivulja savija p o v r h radne tačke prema U_{g1}-osi (radna krivulja oblika slova S). Što je manji opteretni otpor, to više se izjednačuju radne U_{g1}—I_a-krivulje pentode s krivuljama triode.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U čemu se razlikuju U_a—I_a-karakteristike izlazne pentode od karakteristika izlazne triode? *Odgovor:* Kod izlaznih pentoda penju se U_a—I_a-karakteristike strmo i prelaze tada u gotovo vodoravan položaj. Kod izlaznih trioda početna je strmina mnogo manja i karakteristike se penju sve strmije. — *P.:* Čime se objašnjava velika početna strmina U_a—I_a-karakteristika izlazne pentode? *O.:* Pozitivna zaštitna rešetka daje elektronima veliko početno ubrzanje. — *P.:* Razlikuje li se radna krivulja izlazne pentode u U_{g1}—I_a-dijagramu od krivulje izlazne triode? *O.:* Kod m a l e n i h otpora radna je krivulja ovih elektronki uglavnom jednaka. Što je veći opteretni otpor, to se više savijaju krivulje u U_{g1}—I_a-dijagramu prema U_{g1}-osi kod malenih napona na rešetki izlazne pentode. — *P.:* Kakav oblik imaju prema tome općenito radne U_{g1}—I_a-krivulje pentode? *O.:* Oblik slova S. — *P.:* Na kojem mjestu radne krivulje treba smjestiti radnu tačku? *O.:* Otprilike u zakretnu tačku.

123. — Kod izlaznih pentoda treba *najpovoljniji prilagodni otpor* odabrati tako da statičke U_g—I_a-krivulje odsijecaju u blizini radne tačke po mogućnosti jednake dijelove na radnoj karakteristici i da je skraćivanje tih odsječaka (uslijed zbližavanja krivulja) u gornjem i donjem području radne karakteristike što jednoličnije. To znači da radna tačka *A* treba da bude zajednička sa zakretnom tačkom radne karakteristike u U_{g1}—I_a-dijagramu. Tako ćemo dobiti radnu krivulju *BC* na sl. 87. (usporedi također radnu krivulju *EF* i *HK*). U anodnom krugu dobiva se za najpovoljniji prilagodni otpor R_a = 7 000 Ω. Budući da je unutarnji otpor elektronke u radnoj tački otprilike R_i = 70 000 Ω, $R_a = 0{,}1\, R_i$. Sasvim općenito vrijedi obrnuto pravilo nego kod izlaznih trioda: *kod izlaznih pentoda mora najpovoljniji prilagodni otpor biti uvijek manji od unutarnjeg otpora elektronke. Prosječno će biti* R_a = 0,1 *do* 0,2 R_i. Ako nisu postavljeni nikakvi daljnji uvjeti, u prvom redu obzirom na rad bez izobličenja (zadovoljavamo li se dakle slabijim uzbuđenjem), davat će i izlazna pentoda kod stanovitog izmjeničnog napona na rešetki najveću snagu uz $R_a = R_i$ (vidi odsj. 107). Uz n a j p o v o l j n i j i opteretni otpor daje izlazna pentoda s uzbuđenjem do tačke, u kojoj se javlja struja rešetke, najveću snagu u z n a m a n j e i z o b l i č e n j e. Raste li otpor $\mathfrak{R}_a$ preko vrijednosti najpovoljnijeg prilagodnog otpora, ostaje snaga $\mathfrak{R}_a$ neko vrijeme još jednaka (usporedi sl. 84). Tek kod vrlo velikih opteretnih otpora snaga polagano opada. Nadalje pokazuje sl. 89. da ukupni faktor izobličenja *k* ima najmanju vrijednost za neki određeni opteretni otpor. Najpovoljniji prilagodni



Sl. 89.

otpor treba dakle tako odabrati da izlazna pentoda radi u blizini ove najmanje vrijednosti. Osobito je zanimljivo da faktor izobličenja prvog nadvala (drugog harmonika) k_2 ima također jedan minimum, dok faktor izobličenja k_3 drugog nadvala (trećeg harmonika) neprestano raste s opteretnim otporom. Faktor izobličenja k_3 izazvan je naime gornjim savijanjem radne U_{g1}—I_a-karakteristike (vidi sl. 88). Iz rečenoga slijedi da nelinearna izobličenja neke izlazne pentode postaju porastom opteretnog otpora sve veća, dakle obrnuto nego što je kod izlazne triode. Ako je opteretni otpor manji od najpovoljnijeg prilagodnog otpora, onda izlazna snaga opada kao i kod izlazne triode, a izobličenja uzrokovana uglavnom prvim nadvalom rastu. Budući da je najniža vrijednost ukupnog faktora izobličenja kod izlazne pentode oštro istaknuta, potrebno je pridržavati se najpovoljnijeg prilagodnog otpora prilično tačno.

124. — Na sl. 87. ucrtani su i opet trokuti snage uz odgovarajuće radne karakteristike. Crtkani trokut snage *ABD* vrijedi za najveću izlaznu snagu kod koje praktički ne dolazi do izobličenja. Potrebno je posebno naglasiti da površina toga trokuta ne daje pravu vrijednost izlazne snage, jer je faktor izobličenja drugog nadvala k_3 suviše velik (vidi odsjek 116). To vrijedi naročito za trokut snage *AHL* i *ABD*. Budući da radna karakteristika za $R_a = 4\,000\ \Omega$ u U_{g1}—I_a-dijagramu (sl. 88) odgovara otprilike radnoj karakteristici neke izlazne triode (vidi odsjek 122), može se snaga izmjenične struje izračunati prema jedn. (58) (vidi odsjek 116) pomoću gornje i donje tjemene vrijednosti anodne izmjenične struje. Kod većeg opteretnog otpora treba uvijek računati s tjemenom vrijednošću $\mathfrak{J}_1$ osnovnog vala izobličene struje. Prema tome se mora primijeniti postupak prema odsjeku 112. (vidi primjer u odsjeku 114). Uz uzbudni napon $\mathfrak{U}_{g1} = 4{,}5$ V i opteretni otpor $R_a = 4\,000\ \Omega$, $7\,000\ \Omega$ i $10\,000\ \Omega$, dobit ćemo izlaznu snagu otprilike $\mathfrak{N}_a = 2{,}6$ W, 3,2 W i 3,6 W.

125. — Navedimo konačno nekoliko pogonskih podataka za *izlazne pentode*. Pri tome vrijede iste oznake kao i u odsjeku 119.:

	U_a	I_a	U_{g1}	U_{g2}	N_a	R_i	R_a	$\mathfrak{U}_{g1}$	$\mathfrak{N}_a$	η
RES 164	250 V	12 mA	— 12 V	80 V	3 W	60 kΩ	10 kΩ	12 V	1,5 W	50%
RENS 1374d	250 V	24 mA	— 18 V	250 V	6 W	70 kΩ	16 kΩ	14 V	2,9 W	48%
AL 4	250 V	36 mA	— 6 V	250 V	9 W	70 kΩ	7 kΩ	5,1 V	4,0 W	44%
AL 5	250 V	72 mA	— 14 V	275 V	18 W	22 kΩ	3,5 kΩ	12,7 V	8,8 W	49%

Nadalje je U_{g1} prednapon uzbudne rešetke, U_{g2} napon zaštitne rešetke, $\mathfrak{U}_{g1}$ = izmjenični napon uzbudne rešetke, a izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ dana je za faktor izobličenja od 10% (vidi odsjek 115). Usporedimo li na primjer izlaznu pentodu AL 4 s izlaznom triodom AD 1 (vidi odsjek 119), ustanovit ćemo da je za AD 1 potreban otprilike 8,4 puta toliki

uzbudni izmjenični napon koliki je potreban za AL 4,[20]) i ako obje elektronke daju gotovo jednaku izlaznu snagu. Upotrebom pentode AL 4 može se prema tome uštedjeti čitav stupanj niskofrekventnog pojačala. Osim toga stupanj iskoristivosti η izlazne pentode iznosi otprilike 50%, te je prosječno dva puta tako velik kao kod izlazne triode. Kao manu kod izlaznih pentoda treba spomenuti da je faktor izobličenja znatno veći nego kod izlaznih trioda. Ako faktor izobličenja izlazne pentode ne smije da bude veći od 5%, smije se ona samo djelomično uzbuditi, što znači da se moramo zadovoljiti sa znatno manjom snagom.

Ponavljanje

Kod izlaznih pentoda treba uvijek za najpovoljniji prilagodni otpor izabrati manju vrijednost od unutarnjeg otpora elektronke, dakle suprotno nego kod izlazne triode. Općenito treba da bude $R_a = 0{,}1$ do $0{,}2\ R_i$. Ako je opteretni otpor neke izlazne pentode uz uzbuđenje do tačke, u kojoj se javlja struja rešetke, veći od najpovoljnijeg prilagodnog otpora, bit će izlazna snaga uz povećan faktor izobličenja gotovo jednaka, dok kod vrlo velikih otpora polagano opada. Što je opteretni otpor manji od najpovoljnijeg prilagodnog otpora, to više opada izlazna snaga, a nelinearna izobličenja rastu Faktor izobličenja neke izlazne pentode ima najmanju vrijednost kod neke određene veličine opteretnog otpora. To isto vrijedi i za faktor izobličenja od drugog harmonika. Prednost izlaznih pentoda je da im je potreban znatno manji uzbudni napon, a stupanj iskoristivosti je dva puta veći nego kod izlaznih trioda. No kod izlaznih pentoda treba kod pune izlazne snage računati s faktorom izobličenja od 10%.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki treba da je najpovoljniji prilagodni otpor neke izlazne pentode? *Odgovor:* On treba da bude uvijek manji od unutarnjeg otpora elektronke, otprilike $R_a = 0{,}1$ do $0{,}2\ R_i$. — *P.:* Kako ovisi izlazna snaga neke pentode uz uzbuđenje do tačke u kojoj se javlja struja rešetke o veličini opteretnog otpora? *O.:* Što je manji opteretni otpor od najpovoljnijeg prilagodnog otpora, to je manja i izlazna snaga. Ako je opteretni otpor veći od najpovoljnijeg prilagodnog otpora opadat će izlazna snaga mnogo polaganije nego u prvom slučaju. — *P.:* Kako ovisi faktor izobličenja neke izlazne pentode o veličini opteretnog otpora? *O.:* Faktor izobličenja postizava kod neke određene veličine opteretnog otpora (koji je otprilike jednak najpovoljnijem prilagodnom otporu) svoju najmanju vrijednost. Isto vrijedi i za faktor izobličenja *drugog harmonika*, dok faktor izobličenja *trećeg harmonika* porastom opteretnog otpora također raste. — *P.:* Koje su prednosti izlazne pentode pred izlaznom triodom? *O.:* Izlazna pentoda ima veći faktor pojačanja napona, potreban joj je manji uzbudni napon i ima veći stupanj iskoristivosti nego izlazna trioda.

Pitanja

59. Koje je značenje gotovo vodoravnog toka statičke U_a—I_a-karakteristike neke pentode?

60. Postoji li neki pravilan odnos između najpovoljnijeg prilagodnog otpora i unutarnjeg otpora izlazne elektronke?

61. Koje mane ima upotreba pentode?

---

[20]) Kod izlaznih pentoda potreban je malen uzbudni napon $\mathfrak{U}_{g1}$ zbog djelovanja zaštitne rešetke, koja znatno oslabljuje povratno djelovanje anode (vidi odsjek 48).

Zadaci

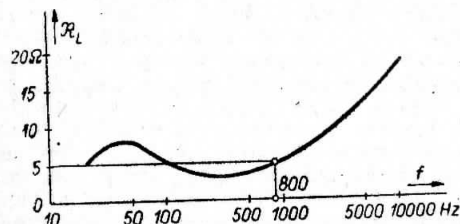
45. Izlazna pentoda ima slijedeće pogonske podatke: Napon uzbudne rešetke —6 V, napon zaštitne rešetke +250 V, anodna istosmjerna struja 36 mA, struja zaštitne rešetke 5 mA, raspoloživi istosmjerni napon mrežnog ispravljača +270 V, ulazni namotaj izlaznog transformatora ima radni otpor 500 Ω: a) Koliki je anodni istosmjerni napon? b) Koliki mora biti prednapon (serijski otpor) u krugu zaštitne rešetke? c) Koliki treba da bude katodni otpor za dobivanje automatskog prednapona rešetke?

46. Osnovni val anodne izmjenične struje neke izlazne pentode ima tjemenu vrijednost 30 mA: a) Kolika je tjemena vrijednost anodnog izmjeničnog napona, ako je opteretni otpor u anodnom krugu 7 kΩ? b) Koliki je faktor pojačanja pentode u slučaju da uzbudni napon rešetke ima tjemenu vrijednost 4,5 V?

47. Izlazna pentoda daje pri punom uzbuđenju izlaznu snagu od 4 W. Kolika će biti izlazna snaga, ako se zbog dobivanja manjeg faktora izobličenja pentoda uzbudi samo do polovine?

Najpovoljnije prilagođenje zvučnika

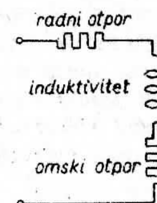
126. — Dosada opisani uvjeti najpovoljnijeg prilagođenja izlazne elektronke na otpor potrošača odnose se uvijek samo na n e p r o m j e n l j i v u vrijednost opteretnog otpora, dakle na neki omski otpor. No ako je u izlaznom krugu izlaznog transformatora spojen zvučnik, onda više ne vrijede dosadanje pretpostavke. Moramo naime računati s *otporom zvučnika za izmjeničnu struju* $\mathfrak{R}_L$ koji je ovisan o frekvenciji. Najpovoljniji prilagodni otpor R_a može prema tome vrijediti samo za neku određenu frekvenciju. Radne karakteristike nemaju više oblik pravca, nego su elipse (vidi odsjek 49). Na sl. 90. prikazana je ovisnost otpora $\mathfrak{R}_L$ niskoomske titrajne zavojnice dinamičkog zvučnika o frekvenciji *f*. Kod niskih frekvencija (oko 50 Hz) ima $\mathfrak{R}_L$ visoku vrijednost (»rezonancija« izazvana vlastitom rezonancijom membrane zvučnika). U području frekvencija od 100 do 1 000 Hz mijenja se $\mathfrak{R}_L$ mnogo brže. Nazivni otpor za izmjeničnu struju ovog zvučnika iznosi kod 800 Hz oko 5 Ω. Iako se sl. 90 odnosi na neki sasvim određeni zvučnik, imaju svi d i n a m i č k i zvučnici (nasuprot magnetskim zvučnicima) u načelu istu ovisnost o frekvenciji.



Sl. 90.

127. — Otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_L$ zavojnice zvučnika sastoji se od ovih otpora: 1. *omskog otpora* zavojnice, 2. *induktivnog otpora* zavojnice, 3. *radnog otpora* pokretnih mehaničkih dijelova zvučnika. Ovaj radni otpor ponaša se kao omski otpor i on je zapravo

korisni otpor, jer titrajni dijelovi zvučnika troše mehaničku energiju koju preko membrane zvučnika isijavaju kao energiju zvuka. Prema tome kao nadomjesnu shemu zvučnika dobivamo shemu na sl. 91. Kako zvučnik samo malen dio dovedene električke energije pretvara u energiju zvuka, dakle ima vrlo malen akustički stupanj iskoristivosti, radni je otpor (korisni otpor) također vrlo malen. Isto vrijedi i za induktivni otpor d i n a m i č k o g zvučnika. Stoga je uobičajeno da se pri određivanju uvjeta prilagođivanja *dinamičkog zvučnika računa sa 1,25 puta povećanim omskim otporom titrajne zavojnice kod srednje frekvencije od 800 Hz.* Tako dobivena vrijednost $\mathfrak{R}_L$ praktički se ne mijenja u najvažnijem području frekvencija od 100 do 1 000 Hz. Budući da se najpovoljniji prilagodni otpor R_a dinamičkog zvučnika mnogo razlikuje od aktivnog otpora zvučnika $\mathfrak{R}_L$, mora se upotrebiti izlazni transformator. Njegov prijenosni odnos treba odabrati prema poznatim pravilima (vidi odsjek 89 i jedn. 39) tako da je $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L$. *Magnetski* zvučnici, koji su se prije gotovo isključivo upotrebljavali, imaju mnogo veći omski otpor i mnogo veći induktivitet od dinamičkog zvučnika, te su se često spajali d i r e k t n o u anodni krug izlazne elektronke. Takvo spajanje ima međutim više nedostataka[21]), pa se ne preporučuje.



Sl. 91.

128. — Promotrimo sada utjecaj promjenljivog otpora zvučnika $\mathfrak{R}_L$ na veličinu izlazne snage $\mathfrak{N}_a$. Budući da $\mathfrak{R}_L$ kod v i š i h frekvencija znatno poraste (vidi sl. 90), bit će i opteretni otpor u anodnom krugu $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L$ znatno v e ć i. Isto vrijedi i za rezonantno područje zvučnika kod niskih frekvencija. Kod *izlaznih trioda* mora prema tome, uz pretpostavku da se uzbuđivanje vrši do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ i faktor izobličenja *k* prema sl. 84. *opadati* s porastom frekvencije. Kod niskih frekvencija ostaje $\mathfrak{N}_a$ radi razmjerno malenih promjena $\mathfrak{R}_L$ otprilike jednako velik, osim u području rezonancije. Ako se neka izlazna trioda uzbuđuje samo djelomično, dobit će se prema jedn. (118) najveća izlazna snaga za $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L = R_i$. Budući da se kod izlaznih trioda odabire $R_a > R_i$, moraju i izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ i faktor izobličenja *k* opadati s porastom R_a, odnosno $\mathfrak{R}_L$. *Kod izlaznih trioda dolazi do zapostavljanja visokih frekvencija. Izlazne pentode* se ponašaju upravo *obrnuto:* uzbuđuje li se elektronka do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, ostaje izlazna snaga $\mathfrak{N}_a$ kod porasta R_a, odnosno $\mathfrak{R}_L$, otprilike *jednako velika,* dok faktor izobličenja *k* brzo raste (vidi odsjek 123 i sl. 89). Tek kod vrlo velikih vrijednosti R_a, odnosno kod vrlo visokih frekvencija $\mathfrak{N}_a$ opet pada. Uzbudimo li pentodu samo djelomično bit će $\mathfrak{N}_a$ najveće za $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L = R_i$. Kako

[21]) Prije svega magnetski se zvučnik kod primjene pentoda ne smije isključiti iz anodnog kruga jer bi nastalo jako preopterećenje zaštitne rešetke!

najpovoljniji prilagodni otpor R_a neke izlazne pentode treba odabrati manjim od unutarnjeg otpora elektronke R_i (vidi odsjek 123), rast će $\mathfrak{R}_a$ i k s porastom $\mathfrak{R}_L$. To je za praksu vrlo važno, jer se prosječno radi samo s nekim srednjim uzbuđenjem, kako kod najglasnije reprodukcije ne bi došlo do izobličenja uslijed preuzbuđenja. *Izlazne pentode dakle izdižu visoke frekvencije.* Najpovoljnije prilagođenje zvučnika na izlaznu elektronku općenito se računa obzirom na impedanciju zvučnika kod frekvencije od 800 Hz.

129. — Izlaznim pentodama može se dakle postići veće ili manje poboljšanje reprodukcije visokih tonova, koji su inače na primjer uslijed preuske krivulje rezonancije titrajnih krugova zapostavljeni (vidi dio I, odsjeke 207 i 208). Pri tome se uvijek mora računati s razmjerno velikim faktorom izobličenja. Potrebno je primijetiti, da za reprodukciju visokih frekvencija većinom nije potrebna tolika izlazna snaga kao za reprodukciju srednjih frekvencija. Uslijed toga se faktor izobličenja kod izlaznih pentoda snizuje. Ako se polaže važnost na osobito vjernu reprodukciju glazbe bez obzira na utrošak materijala (veliko pretpojačanje!) onda se moraju upotrebiti **izlazne triode**. Kod manjih zahtjeva s obzirom na kvalitetu tona i uz ograničena sredstva (prijemnici koji imaju manje elektronki) upotrebljavaju se **izlazne pentode**. No potrebno je već ovdje spomenuti da se nelinearna izobličenja kod izlaznih pentoda mogu znatno smanjiti upotrebom *negativne reakcije* (vidi odsjek 139). Linearna izobličenja, dakle izdizanje ili zapostavljanje izvjesnih područja tonskih frekvencija, mogu se izjednačiti pomoću *korektora tona* (vidi odsjeke 133 i 135).

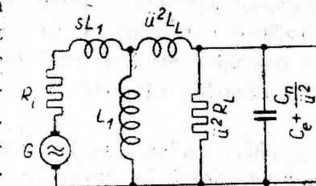
Ponavljanje

Otpor za izmjeničnu struju nekog zvučnika jako je ovisan o frekvenciji, a sastoji se od omskog i induktivnog otpora titrajne zavojnice i od radnog otpora (korisnog otpora) mehanički pokretnih dijelova zvučnika. Otpor za izmjeničnu struju **dinamičkog zvučnika** kod 800 Hz veći je otprilike za 25% od omskog otpora zavojnice. Izlazni transformator s prijenosnim odnosom $ü$ pretvara otpor zvučnika za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_L$ u najpovoljniji prilagodni otpor: $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L$. Kod **izlaznih trioda** dolazi do **zapostavljanja visokih tonova** kako kod uzbuđenja do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, tako i kod djelomičnog uzbuđenja, jer opteretni otpor $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L$ s porastom frekvencije raste. **Izlazne pentode** daju kod punog uzbuđenja i kod visokih frekvencija gotovo istu izlaznu snagu koja tek kod vrlo visokih frekvencija postepeno opada. Pri tome faktor izobličenja naglo raste Ako je uzbuđivanje samo djelomično, izlazne pentode **izdižu visoke** frekvencije. Najpovoljnije prilagođivanje zvučnika na izlaznu elektronku izvodi se najčešće s obzirom na impedanciju kod frekvencije od 800 Hz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod otporom za izmjeničnu struju nekog zvučnika? *Odgovor:* Omski i induktivni otpor zavojnice nekog zvučnika i radni otpor (korisni otpor) pokretnih dijelova zvučnika. — P.: Koliki je prosječno otpor za izmjeničnu struju dinamičkog zvučnika? *O.:* Kod frekvencije od 800 Hz on je otprilike 1,25 puta veći od omskog otpora titrajne zavojnice zvučnika. — *P.:* Kako se izvodi prilagođivanje otpora za izmjeničnu struju zvučnika $\mathfrak{R}_L$ na najpovoljniji otpor anodnog kruga R_a izlazne elektronke? *O.:* Pomoću izlaznog transformatora, pri čemu mora da bude $R_a = ü^2 \cdot \mathfrak{R}_L$. — *P.:* Kakav utjecaj ima o frekvenciji ovisan otpor zvučnika $\mathfrak{R}_L$ na izlaznu snagu izlazne triode? *O.:* Izlazna snaga opada kod viših frekvencija, to jest izlazna trioda zapostavlja visoke frekvencije. — *P.:* Da li je isto tako i kod izlaznih pentoda? *O.:* Ne: kod uzbuđenja do tačke u kojoj se javlja struja rešetke opada izlazna snaga tek kod vrlo visokih frekvencija. Ako se izlazna pentoda ne uzbuđuje potpuno, izlazna snaga raste s porastom frekvencije, to jest dolazi do izdizanja visokih frekvencija. — *P.:* Kakva je razlika s obzirom na kvalitetu zvuka između trioda i pentoda? *O.:* Izlazne pentode daju zvuku svjetliju boju nego izlazne triode, te glazba i govor zvuče oštrije. — *P.:* Koji se otpor za izmjeničnu struju nekog zvučnika uzima u obzir prilikom određivanja najpovoljnijeg prilagodnog otpora izlazne elektronke? *O.:* Općenito onaj otpor za izmjeničnu struju koji zvučnik ima kod frekvencije od 800 Hz.

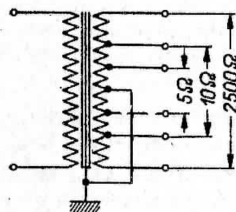
130. — K dosada opisanoj ovisnosti izlazne snage o frekvenciji pridolazi još ovisnost izlaznog transformatora o frekvenciji, te ovisnost o frekvenciji uslijed kapaciteta elektronke i spojeva. Ovdje se u načelu radi o istim postavkama kao i kod pojačala s transformatorom (vidi odsjek 90 do 101). *Donja granična frekvencija* f_u određena je uglavnom ulaznim induktivitetom L_1 izlaznog transformatora (vidi odsjek 90), te pri tome mora da bude $R_i \leqq \omega_u \cdot L_1 \leqq 2\pi \cdot f_u \cdot L_1$. Budući da je unutarnji otpor izlaznih pentoda mnogo veći od unutarnjeg otpora izlaznih trioda, mora kod izlaznih pentoda ulazni induktivitet L_1 biti što veći. *Gornja granična frekvencija* f_o ovisi kao i prije o veličini ukupnih paralelnih kapaciteta (vidi odsjek 94) i o rasipnom induktivitetu (vidi odsjek 97). U paralelnom kapacitetu C_n izlaznog kruga izlaznog stupnja nije više sadržan kapacitet između rešetke i anode $C_{ga} \cdot (1 + V_u)$, jer iza zvučnika nema više nikakove elektronke. Kapacitet C_n djeluje prema odsjeku 94. kao kapacitet $C_n/ü^2$ u ulaznom krugu izlaznog transformatora; tome je paralelno priključen kapacitet $C_e = C_{ak} + C_1 + C_s$ ulaznog kruga, dakle anodnog kruga izlazne elektronke (oznake kao u odsjeku 94), tako da ukupni paralelni kapacitet iznosi $[C_e + (C_n/ü^2)]$. U seriju s rasipnim induktivitetom $s \cdot L_1$ izlaznog transformatora (vidi jedn. 48) spojen je još na ulazni krug preneseni induktivitet zavojnice zvučnika $ü^2 \cdot L_L$ (vidi jedn. 43). Nadalje omski otpor zavojnice zvučnika R_L prema jedn. (39) djeluje kao omski otpor $ü^2 \cdot R_L$ u ulaznom krugu izlaznog transformatora. Prema tome analogno sl. 85. dobivamo za jednostavni izlazni stupanj nadomjesnu shemu prikazanu na sl. 92. Da bi ovisnost o frekvenciji kod viših frekvencija ostala malena, mora ukupni omski otpor $R_i + ü^2 \cdot R_L$ biti **velik** prema ukupnom induktivnom otporu $\omega(sL_1 + ü^2 L_L)$. Samo u ovom slučaju bit će gubitak izmjeničnog napona na oba indukti-



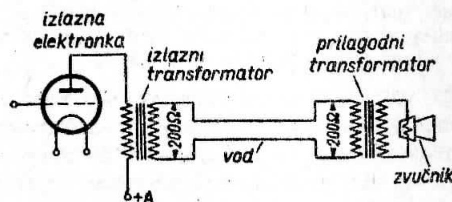
Sl. 92.

viteta malen. Ulazni induktivitet L_1 može se pri tome zanemariti, budući da je njegov induktivni otpor $\omega \cdot L_1$ kod visokih frekvencija vrlo velik. Kod svih tih razmatranja pretpostavlja se da je omski otpor namotaja izlaznog transformatora malen.

131. — U pojačala su obično ugrađeni izlazni transformatori koji imaju sekundarni namotaj izveden s više odvojaka, kako bi se impedancija zvučnika mogla ispravno prilagoditi na izlaznu elektronku. Na sl. 93. vidimo shemu izlaznog transformatora za prilagođivanje zvučnika s otporima od 5 Ω, 10 Ω i 2 500 Ω. Niskoomske dinamičke zvučnike treba priključiti s kratkim (do 25 m) i debelim žicama, jer inače u



Sl. 93.



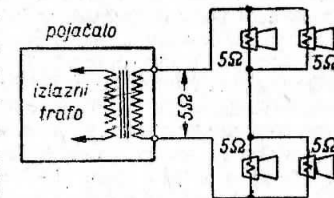
Sl. 94.

omskom otporu dovodnih žica dolazi do znatnog gubitka energije. Ako se duži vodovi do zvučnika[22]) ne mogu izbjeći, onda treba upotrebiti izlazni transformator koji ima izlazni namotaj predviđen za otpor voda od nekoliko stotina oma (na primjer 200 Ω ili 500 Ω). Na dvožični pojni vod spojen je drugi, obično već na zvučnik dograđen *transformator za prilagođenje* zvučnika, kojemu je ulazni namotaj prilagođen na otpor voda od nekoliko stotina oma (sl. 94). Izlazni namotaj transformatora za prilagođenje prilagođen je otporu zvučnika.

132. — Često je potrebno i s t o d o b n o priključiti više zvučnika na neko pojačalo. Imaju li zvučnici jednaku govornu snagu (opteretivost) i istu impedanciju $\mathfrak{N}_L$, mora se paralelnim ili serijskim spajanjem odnosno kombinacijom obaju načina spajanja postići impedancija koja odgovara propisanom opteretnom otporu izlaznog transformatora. Treba li na primjer priključiti četiri jednaka dinamička zvučnika s otporom za izmjeničnu struju od $\mathfrak{N}_L = 5\ \Omega$ na pojačalo s izlaznim otporom od 5 Ω, spojit ćemo po dva zvučnika paralelno i zatim ove dvije grupe u seriju (sl. 95). Paralelni spoj daje ukupni otpor od $\mathfrak{N}_L/2 = 2{,}5\ \Omega$, tako da serijskim spajanjem dobivamo ukupni prilagodni otpor od $2\ \mathfrak{N}_L/2 = 2 \cdot 2{,}5 = 5\ \Omega$. Ako su impedancije raznih zvučnika različite i ako

[22]) Dugački vodovi do zvučnika zbog visokih izmjeničnih napona i štetnog utjecaja kapaciteta vodova (prigušivanje visokih frekvencija!) osobito su nepoželjni kod v i s o k o o m s k i h zvučnika.

zvučnici osim toga imaju različitu opteretivost, kao što to u praksi nalazimo na primjer kod zajedničkog prijema u prostorijama različitih veličina ili na slobodnom prostoru, morat će svaki zvučnik imati svoj vlastiti prilagodni transformator. Pri tome moraju prilagodni otpori ulaznog namotaja svakog pojedinog transformatora biti tako odabrani da ukupni otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{N}_L$ *paralelnog spoja* daje uvijek propisanu vrijednost prilagodnog otpora na izlazu pojačala ($\mathfrak{N}_a = \mathfrak{N}_L$). Ukupna izlazna snaga što je daje pojačalo uvijek je jednaka zbroju pojedinačnih snaga pojedinih zvučnika: $\mathfrak{N}_v = \mathfrak{N}_{L1} + \mathfrak{N}_{L2} + \mathfrak{N}_{L3} + \ldots$ Ako su svi zvučnici spojeni na izlaz pojačala *paralelno*, onda će prema jedn. (52) biti: $\mathfrak{N}_{L1} : \mathfrak{N}_{L2} = [\mathfrak{U}^2/(2\,\mathfrak{N}_{L1})] : [\mathfrak{U}^2/(2\,\mathfrak{N}_{L2})] = [1/\mathfrak{N}_{L1}] : [1/\mathfrak{N}_{L2}]$, to jest: $\mathfrak{N}_{L2} = (\mathfrak{N}_{L1}/\mathfrak{N}_{L2}) \cdot \mathfrak{N}_{L1}$. Prema tome dobivamo: $\mathfrak{N}_v = \mathfrak{N}_{L1} + \mathfrak{N}_{L2} = \mathfrak{N}_{L1}\,(1 + \mathfrak{N}_{L1}/\mathfrak{N}_{L2}) = \mathfrak{N}_{L1} \cdot (\mathfrak{N}_{L2} + \mathfrak{N}_{L1})/\mathfrak{N}_{L2}$. Radi paralelnog spajanja $\mathfrak{N}_{L1}$ i $\mathfrak{N}_{L2}$ bit će: $1/\mathfrak{N}_a = 1/\mathfrak{N}_L\ (1/\mathfrak{N}_{L1}) + (1/\mathfrak{N}_{L2})$, to jest: $(\mathfrak{N}_{L2} + \mathfrak{N}_{L1})/\mathfrak{N}_{L2} = \mathfrak{N}_{L1}/\mathfrak{N}_{La}$. Prema tome bit će: $\mathfrak{N}_v = \mathfrak{N}_{L1} \cdot \mathfrak{N}_{L1}/\mathfrak{N}_a$ ili: $\mathfrak{N}_{L1} = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{N}_{L1}) \cdot \mathfrak{N}_a$. Analogno se za prilagodni otpor drugog zvučnika dobiva: $\mathfrak{N}_{L2} = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{N}_{L2}) \cdot \mathfrak{N}_a$, dakle posve općenito:



Sl. 95.

$$\boxed{\mathfrak{N}_{Ln} = \frac{\mathfrak{N}_v}{\mathfrak{N}_{Ln}} \cdot \mathfrak{N}_a} \qquad \ldots\ldots\ (59)$$

Pri tome znači: $\mathfrak{N}_{Ln}$ = prilagodni otpor pojedinog zvučnika, $\mathfrak{N}_a$ prilagodni otpor (izlazni otpor) pojačala, $\mathfrak{N}_{Ln}$ = govorna snaga (opteretivost) pojedinog zvučnika i $\mathfrak{N}_v$ = izlazna snaga pojačala.

Ponavljanje

D o n j a g r a n i č n a f r e k v e n c i j a f_u nekog izlaznog stupnja ovisi uglavnom o ulaznom induktivitetu L_1 izlaznog transformatora. Pri tome treba da bude $R_i \leq \omega_u L_1 \leq 2\pi f_u \cdot L_1$. G o r n j a g r a n i č n a f r e k v e n c i j a f_o izlaznog stupnja određena je veličinom paralelnog kapaciteta i rasipnog induktiviteta. Reprodukcija visokih frekvencija bit će to bolja, što je veći aktivni omski otpor u anodnom krugu izlaznog stupnja prema ukupnom induktivnom otporu rasipnog induktiviteta i induktiviteta zavojnice zvučnika prenesenog na anodni krug. Treba li više zvučnika priključiti istodobno na jedno pojačalo, mora ukupni otpor za izmjeničnu struju paralelnog ili serijskog spoja zvučnika biti jednak izlaznom otporu pojačala. Ako su vodovi do zvučnika dugački, mora pojačalo imati izlazni otpor od nekoliko stotina oma. Zvučnik se u tom slučaju priključuje preko posebnog p r i l a g o d n o g t r a n s f o r m a t o r a na kraju voda. Kod istodobnog pogona različitih zvučnika s različitom snagom $\mathfrak{N}_{Ln}$ treba ulazne otporne $\mathfrak{N}_{Ln}$ pojedinih prilagodnih transformatora s obzirom na snagu tako odabrati, da se dobije ukupni otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{N}_L$ koji je jednak izlaznom otporu pojačala $\mathfrak{N}_a$. Tada kod paralelnog spajanja zvučnika vrijedi: $\mathfrak{N}_{Ln} = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{N}_{Ln}) \cdot \mathfrak{N}_a$ ($\mathfrak{N}_v$=izlazna snaga pojačala).

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji uvjet vrijedi kod izlaznog stupnja da reprodukcija dubokih tonova bude dobra? *Odgovor:* Unutarnji otpor izlazne elektronke smije biti najviše jednak induktivnom otporu ulaznog induktiviteta izlaznog transformatora. — *P.:* Koji uvjet treba ispuniti da reprodukcija visokih tonova bude dobra? *O.:* Induktivni otpor rasipnog induktiviteta izlaznog transformatora i induktivitet zavojnice zvučnika prenesen na ulazni krug mora da bude znatno manji od zbroja unutarnjeg otpora elektronke i omskog otpora zavojnice zvučnika prenesenog na ulazni krug. — *P.:* Kako se može ukloniti štetan utjecaj dugačkog voda do zvučnika? *O.:* Izlaz pojačala treba da ima izlazni transformator s izlaznim otporom od nekoliko stotina oma i na kraju voda treba priključiti zvučnik preko posebnog transformatora za prilagođenje. — *P.:* Kako se priključuje istodobno više zvučnika s različitim impedancijama i s različitom snagom na neko pojačalo? *O.:* Svaki zvučnik ima poseban transformator za prilagođenje. Paralelni spoj svih zvučnika, odnosno grupa zvučnika, mora davati impedanciju jednaku izlaznom otporu pojačala. — *P.:* Kako se može ovdje izračunati potreban prilagodni otpor svakog pojedinog zvučnika? *O.:* Potreban prilagodni otpor pojedinog zvučnika = ukupna snaga pojačala × izlazni otpor pojačala : snaga pojedinog zvučnika

Pitanja

62. Kada se upotrebljavaju izlazne triode, a kada izlazne pentode?
63. Koji utjecaj ima dugačak vod do zvučnika na kvalitetu reprodukcije?
64. Na što treba paziti pri istodobnom priključivanju većeg broja zvučnika na neko pojačalo?

Zadaci

48. U nekoj dvorani potrebno je priključiti dinamički zvučnik snage 5 W i otpora titrajne zavojnice 2,5 Ω, a na slobodnom prostoru velik dinamički zvučnik snage 20 W i otpora titrajne zavojnice 6 Ω. Oba zvučnika su spojena paralelno na 200-omski izlaz pojačala od 25 W: a) Koliki su prilagodni otpori i b) kako treba odabrati prijenosne odnose transformatora za prilagođenje?

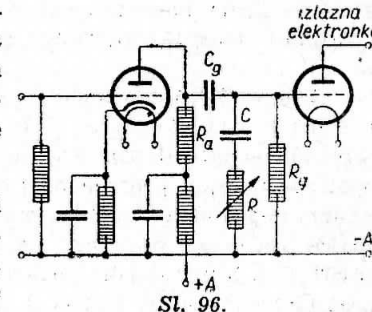
49. Na izlazni transformator pojačala s izlaznom snagom 18 W priključena su četiri dinamička zvučnika u paralelnom spoju. Prilagodni transformatori imaju ove ulazne otpore: 900 Ω, 2 250 Ω, 3 000 Ω i 9 000 Ω: a) Koliki treba da je izlazni otpor pojačala i b) koja snaga otpada na pojedini zvučnik?

50. Razglasni uređaj sastoji se od pojačala izlazne snage 25 W, kojemu je na izlaz priključen veliki zvučnik (s prilagodnim transformatorom za ulazni otpor od 200 Ω i paralelno k tome u serijskom spoju dva zvučnika s prilagodnim transformatorom od 200 Ω, odnosno 500 Ω ulaznog otpora: a) Nacrtaj spoj zvučnika! b) Koliki mora da bude izlazni otpor pojačala? c) Koliki je izmjenični napon na izlazu pojačala? d) Kolike su snage pojedinih zvučnika?

Reguliranje boje tona i korekcija izobličenja

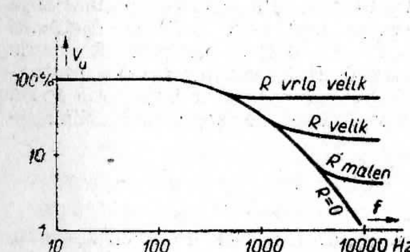
133. — U mnogo slučajeva potrebno je izmijeniti boju tona (vidi odsjek 65) nekog prijenosa govora ili muzike da bi se postigla prirodnija reprodukcija ili udovoljilo osobnom muzičkom ukusu slušača. Ovdje se radi o hotimičnom izazivanju linearnih izobličenja (vidi odsjek 77)

na primjer o slabljenju dubokih tonova u svrhu postignuća »svjetlije« reprodukcije (na primjer u vrlo prigušenim prostorijama s malenim odjekom) ili o slabljenju visokih frekvencija, da se postigne »tamnija« reprodukcija (na primjer u slabo prigušenim prostorijama s velikim odjekom). Takvi slučajevi dolaze često kod radioprijema, u kazalištu, kod tonfilma, kod velikih prijenosa itd. Pri svakom reguliranju boje tona javlja se uvijek jače ili slabije smanjenje ukupne jakosti zvuka, jer slabljenje izvjesnog područja tonskih frekvencija predstavlja naravno neki gubitak energije. Uređaj za reguliranje boje tona naziva se *regulatorom boje tona*. Kako većina prijemnika ima takav regulator, upoznat ćemo se s najobičnijim spojevima regulatora boje tona.

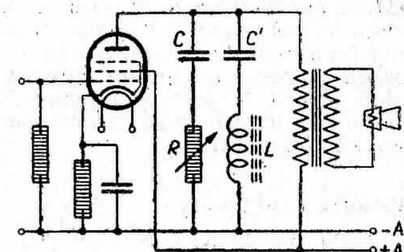


Sl. 96.

134. — Na sl. 96. vidimo uobičajeni spoj otpornog pojačala (vidi sl. 56). Paralelno odvodnom otporu rešetke R_g spojen je regulator boje tona koji se sastoji od serijskog spoja kondenzatora C i promjenljivog omskog otpora R. Otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R} = \sqrt{R^2 + [1/(\omega C)]^2}$ serijskog spoja R i C bit će s porastom kružne frekvencije ω sve manji i konačno se približava vrijednosti R. Regulator boje tona je dakle s obzirom na izmjeničnu struju spojen anodnom otporu R_a paralelno tako da su aktivni anodni otpor, a prema tome i pojačanje napona, za odgovarajući iznos smanjeni. To vrijedi prije svega za male vrijednosti od R i za visoke frekvencije. Doći će dakle do *slabljenja visokih frekvencija* (ili drugačije rečeno: od izdizanja dubokih tonova), to jest boja tona bit će tamnija. Ako je $R = 0$, opadat će pojačanje napona s porastom frekvencija neprestano jer $\mathfrak{R}$ postaje sve



Sl. 97.



Sl. 98.

manji. U tom će slučaju boja tona biti neprirodno tamna. Ako je pak $R \neq 0$, bit će slabljenje pojačanja napona ograničeno otporom R na izvjesnu najnižu vrijednost. Kod visokih naime frekvencija ne može $\mathfrak{R}$ biti manji od R, jer vrijednost $1/\omega C$ opada prema nuli. Imamo dakle mogućnost da promjenljivim otporom R po volji reguliramo boju

tona kod visokih frekvencija. Ove odnose vidimo jasno iz krivulje na sl. 97. Tamo je prikazana ovisnost pojačanja napona V_u o frekvenciji f za različite vrijednosti R uz konstantni C. Mjesto tačke skretanja na krivulji na sl. 97. ovisi o produktu $R_i \cdot C$. Veličina R ravna se prema unutarnjem otporu R_i elektronke u predstupnju i o stupnju slabljenja visokih frekvencija. Ugradimo li regulator boje tona tako kao što je prikazano na sl. 96. preporučuje se za *triodu* uzeti vrijednost: $C = 5\,000$ pF, $R = 0{,}1$ MΩ, a kod pentoda vrijednost: $C = 1\,000$ do $2\,000$ pF, $R = 1$ do 2,5 MΩ. Ovdje navedene vrijednosti za R predstavljaju n a j v e ć u vrijednost (ukupnu vrijednost) promjenljivog otpora.

135. — Opisani regulator boje tona spaja se često i u anodni krug i z l a z n e e l e k t r o n k e i to najviše kod *izlaznih pentoda* (sl. 98; usporedi također sl. 86). Kao što smo u odsjeku 128. vidjeli, dolazi kod upotrebe izlaznih pentoda do izdizanja v i s o k i h frekvencija. Ovako nastala neprirodna boja tona može se ukloniti R—C-regulatorom koji je spojen paralelno zvučniku. Pri tome C ima kapacitet od 20 000 do 50 000 pF, a R maksimalnu vrijednost, od 25 do 50 kΩ. Serijski spoj C i L predstavlja »zapor za 9 kHz« o kojem ćemo govoriti u odsjeku 138. Konačno treba još spomenuti da se opisanim regulatorom može, zbog toga što se oslabljuju visoke frekvencije, postići smanjenje šuma igle pri električkoj reprodukciji gramofonskih ploča i izvjesno oslabljenje atmosferskih smetnja. To ide svakako na štetu kvalitete reprodukcije.

Ponavljanje

R e g u l a t o r o m boje t o n a vrši se hotimično mijenjanje boje tona. Njegovo djelovanje temelji se na slabljenju gornjeg ili donjeg područja tonskih frekvencija. Kao regulator boje tona upotrebljava se na primjer o frekvenciji ovisni serijski spoj kondenzatora s kapacitetom C i promjenljivog omskog otpora R. Ako ovaj serijski spoj leži paralelno otporu anodnog kruga R_a neke elektronke pojačala, doći će do slabljenja visokih frekvencija. Veličina frekvencije kod koje počinje djelovati regulator boje tona ovisi o umnošku $R_i \cdot C$, dok se veličina R ravna prema poželjnom stupnju slabljenja visokih frekvencija i prema unutarnjem otporu R_i prethodnog stupnja. Takav se regulator boje tona spaja često i u anodni krug izlazne pentode, da bi se korigiralo izdizanje visokih frekvencija.

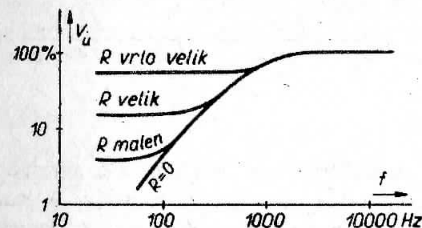
Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi regulator boje tona? *Odgovor:* Pomoću njega se može promijeniti boja tona pri reprodukciji govora ili glazbe i to tako da se oslabe visoke ili niske tonske frekvencije. — *P.:* Čime se to može postići? *O.:* Pomoću otpora kojima je vrijednost ovisna o frekvenciji. — *P.:* Na koji način se postiže slabljenje visokih frekvencija? *O.:* Pomoću serijskog spoja kondenzatora i omskog otpora koji se dodaje paralelno anodnom krugu elektronke pojačala. — *P.:* Kakav utjecaj ima pri tome omski otpor? *O.:* On ograničuje stupanj slabljenja visokih frekvencija. — *P.:* O čemu ovisi početak opadanja pojačanja napona? *O.:* O produktu unutarnjeg otpora elektronke i kapaciteta regulatora boje tona. — *P.:* Kako se može kod izlazne pentode korigirati izdizanje visokih tonova?

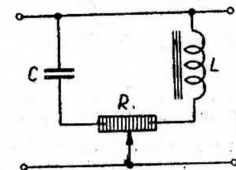
O.: U anodni krug treba spojiti regulator boje tona. — *P.:* Kakav se regulator boje tona može pri tome upotrebiti? *O.:* Upravo opisani serijski spoj kondenzatora i omskog otpora.

136. — *Za slabljenje dubokih tonova* može se upotrebiti regulator boje tona koji se sastoji od serijskog spoja induktiviteta L i promjenljivog omskog otpora R (sl. 99). Ovaj se regulator ugrađuje tačno na isto mjesto kao i regulator R—C na sl. 96. No regulator boje tona R—L ima upravo p r o t i v n o djelovanje od regulatora R—C (usporedi odsjek 134), jer je otpor za izmjeničnu struju serijskog spoja L i R jednak $\mathfrak{R} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$, te se s m a n j i v a n j e m kružne frekvencije približava vrijednosti R. Dobivamo dakle (nasuprot sl. 97) krivulje na sl. 100. I ovdje omski otpor R ograničuje stupanj slabljenja, no ovaj puta d u b o k i h frekvencija. Kod *trioda* se uzima $L \approx 5$ H, $R = 0{,}1$ MΩ (krajnja vrijednost), kod *pentoda* $L = 15$ do 25 H, $R = 1$ do 2,5 MΩ. Konačno je na sl. 101. prikazana kombinacija obaju regulatora boje tona iz sl. 96. i 99. Ovim *dvostranim regulatorom* moguće je po volji oslabiti duboke ili visoke frekvencije. Stoji li klizač promjenljivog otpora R (potenciometra) (ukupno $2 \times 0{,}1$ MΩ u srednjem položaju, neće regulator boje tona imati nikakvo djelovanje. Što se više klizač pomiče prema C (u lijevo), to će više biti oslabljeni visoki tonovi;

Sl. 99.



Sl. 100.

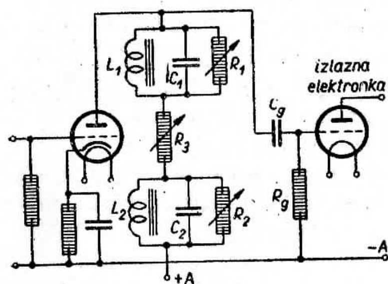


Sl. 101.

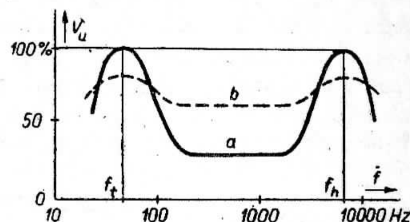
regulator boje tona u ovom slučaju radi kao na sl. 96. i 97. Obratno se događa ako se klizač pomiče prema L (na desno, usporedi sl. 99 i 100).

137. — Ako se ne radi o tome da se potpuno promijeni boja tona, nego da se samo određeno područje tonskih frekvencija istakne ili potisne, upotrebljava se *korektor* tona. Primjeri za ovaj slučaj su: izdizanje d u b o k i h tonova da se korigira zapostavljanje ovih frekvencija kod zvučnika, odnosno gramofonskih ploča, izdizanje v i s o k i h tonova da se kompenzira rezanje bočnih pojaseva u titrajnim krugovima (dio I, odsjek 209), zatim prigušivanje pojačanja d u b o k i h tonova pri snimanju gramofonskih ploča da se spriječi prijelaz amplituda iz jedne brazde u drugu. Korektori najčešće iskorišćuju rezonantno djelovanje titrajnog kruga. Upoznali smo već dva takva slučaja u odsjeku 93. i 100. kad smo govorili o frekventnoj ovisnosti transformatorskog pojačala (usporedi sl. 71 i 76). Kao daljnji primjer prikazan je korektor na sl. 102.

sa dva različita titrajna kruga. U anodni krug predstupnja spojen je titrajni krug $L_1 - C_1$ koji je ugođen na neku nisku frekvenciju (na primjer $f_t = 50$ Hz; paralelna rezonancija). U seriju s ovim preko promjenljivog omskog otpora R_3 spojen je drugi titrajni krug $L_2 - C_2$ koji je ugođen na neku visoku frekvenciju (na primjer $f_h = 8\,000$ Hz). U slučaju paralelne rezonancije imaju oba titrajna kruga kao *zaporni krugovi* najveći otpor (vidi dio I, odsjeke 102 i 106), tako da predstupanj ima za frekvencije paralelne rezonancije f_t i f_h najveći faktor pojačanja (krivulja *a* na sl. 103.). Pri tome je pretpostavljeno da omski otpor R_3 nije prevelik (kod trioda oko 10 kΩ), kako bi se naponsko pojačanje moglo povećati kad se poveća otpor uslijed paralelne rezonancije (krivulja *a* na sl. 103 odnosi se na $R_3 = 0$). Pomoću promjenljivih otpora R_1 i R_2 (otprilike po 0,1 MΩ) može se ugoditi rezonantno izdizanje (vidi dio I, odsjek 111, jedn. 60). Ako se R_1 i R_2 i R_3 ne namjeste na najveću vrijednost, onda ni pojačanje napona za frekvencije paralelne rezonancije neće postići najveću vrijednost i dobit će se na primjer krivulja *b* na sl. 103. Vidimo dakle da se različitim namještanjem otpora $R_1 - R_3$ mogu oba rezonantna izdizanja na sl. 103. po volji mijenjati, ili uz R_1, odnosno $R_2 = 0$ također potpuno ukloniti. Također se iz krivulja vidi da kod punog djelovanja korektora dolazi do znatnog gubitka glasnoće (suprotno korektorskom djelovanju na sl. 71 i 76).



Sl. 102.



Sl. 103.

138. — Konačno prelazimo na još jedan korektor, naime na *zapor 9 kHz* (»interferentni filtar«) $C' - L$ na sl. 98. Vrijednost za C i L su tako odabrane da se rezonancija dobiva kod frekvencije 9 kHz. Budući da se tu radi o *usisnom krugu*, slično kao u dijelu I, sl. 156-b), bit će praktično kratko spojene samo tonske frekvencije od 9 kHz. Takav zapor za 9 kHz upotrebljava se u mnogim prijemnicima da se izluči interferentni ton od 9 kHz, koji se može dobiti interferencijom vala nosioca stanice koju slušamo s valom nosiocem susjedne jake stanice, koja je udaljena za 9 kHz (vidi dio I, odsjeke 203 i 205). Krug serijske rezonancije $C' - L$ mora imati vrlo maleno prigušenje, jer bi inače i za susjedne frekvencije uz 9 kHz prigušenje bilo jako.

Ponavljanje

Regulator boje tona koji oslabljuje niske frekvencije sastavljen je od serijskog spoja induktiviteta i promjenljivog omskog otpora. Omski otpor ograničuje stupanj slabljenja niskih frekvencija. Korektor ne služi za reguliranje boje tona, nego za izdizanje ili potiskivanje posve određenog frekventnog područja. Ovdje dolaze u obzir uglavnom rezonantni titrajni krugovi koji se mogu spojiti na primjer u anodni krug elektronke i tamo utjecati na veličinu naponskog pojačanja. Zapor za 9 kHz također je takav korektor koji kao usisni krug ugođen na frekvenciju 9 kHz služi za potiskivanje piskavog tona ove frekvencije. Ovaj ton nastaje u prijemniku uslijed interferencije dvaju prijenosnih valova razmaknutih za 9 kHz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može boja tona neke reprodukcije muzike koja zvuči previsoko učiniti prirodnijom? *Odgovor:* Slabljenjem visokih tonskih frekvencija pomoću regulatora boje tona. — *P.*: Kakav regulator boje tona treba ovdje primijeniti? *O.*: Serijski spoj induktiviteta i promjenljivog otpora paralelno anodnom krugu elektronke pojačala. — *P.*: Čemu služi korektor tona? *O.*: On izdiže ili potiskuje neko posve određeno frekventno područje. — *P.*: Kako se to može postići? *O.*: Iskorišćenjem paralelne ili serijske rezonancije ugođenih titrajnih krugova. — *P.*: Što je »zapor za 9 kHz«? *O.*: Usisni krug ugođen na frekvenciju 9 kHz. — *P.*: Kakvo djelovanje ima takav usisni krug? *O.*: Otklanja neugodni piskavi ton od 9 kHz koji nastaje u prijemniku uslijed interferencije prijenosnih valova dvaju po frekvenciji susjednih odašiljača.

Pitanja

65. Čime se objašnjava gubitak jakosti glasa pri upotrebi regulatora boje tona?

66. Kakva je razlika između regulatora boje tona i korektora?

Zadaci

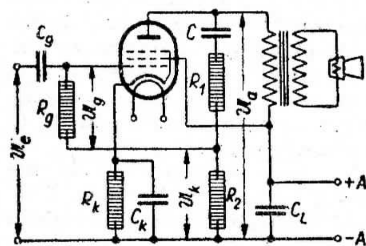
51. Titrajni krug korektora $L_1 - C_1$ na sl. 102. treba ugoditi na frekvenciju od 50 Hz; a) Koliki treba da je kapacitet C_1 ako niskofrekventna prigušnica (sa zanemarivim omskim otporom) ima induktivitet od 25 H? b) Koliki je rezonantni otpor ovog titrajnog kruga u slučaju da je paralelni otpor $R_1 = 0{,}1$ MΩ?

52. Pomoću kondenzatora od 3 000 pF treba načiniti zapor za 9 kHz. Koji induktivitet mora da ima zavojnica titrajnog kruga?

Niskofrekventna negativna reakcija

139. — Da se poboljša reprodukcija govora i glazbe, osobito u slučaju kad su u izlaznom stupnju pentode (vidi odsjek 129), upotrebljava se *negativna reakcija*. Pri tome se dio izlaznog izmjeničnog napona izlaznog stupnja dovodi ulaznom krugu nekog stupnja pojačala, i to tako da je

izlazni napon *u fazi protivan* ulaznom naponu dotičnog stupnja pojačala. Na sl. 104. vidimo primjer *naponske negativne reakcije* u jednostavnom izlaznom stupnju s pentodom (usporedi sl. 86). Paralelno anodnom izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_a$ spojen je d j e l i t e l j n a p o n a, koji se sastoji od serijskog spoja dvaju otpora R_1 i R_2. Kondenzator $C = 0,1$ do $0,5\,\mu F$ sprečava prolaz istosmjernoj struji. Vrijednost otpora $(R_1 + R_2)$ mora da bude najmanje $10\,R_a$ da aktivni anodni otpor R_a ne bi bio znatnije smanjen. Odvodni otpor rešetke R_g nije kao obično spojen neposredno na —A, nego preko omskog otpora R_2 koji pripada djelitelju napona $(R_1 + R_2)$. Od anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$ na djelitelju napona $R_1 - R_2$ otpada na R_2 po Ohmovom zakonu izmjenični napon $\mathfrak{U}_k = [R_2/(R_1 + R_2)] \cdot \mathfrak{U}_a = \alpha \cdot \mathfrak{U}_a$, ako stavimo da je $\alpha = R_2 / (R_1 + R_2)$[23]. Ovaj dio α izmjeničnog izlaznog napona $\mathfrak{U}_a$ u *protufazi* je s izmjeničním naponom rešetke $\mathfrak{U}_g$, odnosno s ukupnim ulaznim izmjeničnim naponom $\mathfrak{U}_e$. Uslijed toga nije više stvarni napon na ulazu pojačala $\mathfrak{U}_e$, nego je taj smanjen za izmjenični napon negativne reakcije $\mathfrak{U}_k$. Dakle $\mathfrak{U}_g = \mathfrak{U}_e - \mathfrak{U}_k = \mathfrak{U}_e - \alpha \cdot \mathfrak{U}_a$. Da bismo dakle s negativnom reakcijom imali na izlazu isti izmjenični napon, pa prema tome i istu izlaznu snagu kao bez negativne reakcije, mora ulazni izmjenični napon da bude za iznos $\mathfrak{U}_k$ veći od $\mathfrak{U}_g$, to jest $\mathfrak{U}_e = \mathfrak{U}_g + \mathfrak{U}_k$. Iz toga slijedi da *negativna reakcija smanjuje pojačanje napona*. Označuje li $V_u' = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e$ = pojačanje napona *s* negativnom reakcijom, a $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g$ = pojačanje napona *bez* negativne reakcije (vidi odsjek 52) dobivamo: $V_u' = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_e = \mathfrak{U}_a/(\mathfrak{U}_g + \mathfrak{U}_k) = \mathfrak{U}_a/(\mathfrak{U}_g + \alpha \cdot \mathfrak{U}_a) = \mathfrak{U}_a/(\mathfrak{U}_g + \alpha \cdot V_u \cdot \mathfrak{U}_g) = (\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g) \cdot 1/(1 + \alpha \cdot V_u)$, to jest:



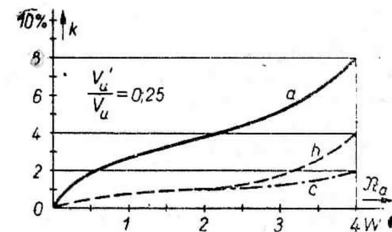
Sl. 104.

$$V_u' = \frac{V_u}{1 + \alpha \cdot V_u} \qquad (60)$$

Prema tome je: $V_u' < V_u$; nadalje će biti: $V_u : V_u' = (\mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{U}_g) \cdot \mathfrak{U}_e/\mathfrak{U}_a) = \mathfrak{U}_e/\mathfrak{U}_g$ ili:

$$\mathfrak{U}_e = \frac{V_u}{V_u'} \cdot \mathfrak{U}_g \qquad (61)$$

140. — Pojačalo s negativnom reakcijom daje doduše manje pojačanje napona, ali se zato *smanjuju nelinearna izobličenja, dakle faktor izobličenja i šumovi koji nastaju u pojačalu* (brujanje, zvečanje elektronke, šum elektronki itd.). Izlazni izmjenični napon $\mathfrak{U}_k = \alpha \cdot \mathfrak{U}_a$ u protufazi s ulaznim izmjeničnim naponom ne poništava samo dio ulaznog izmjeničnog napona, nego i dio izobličenja i napona smetnji: *negativnom reakcijom smanjuju se nelinearna izobličenja i smetnje otprilike u istom omjeru kao i pojačanje napona*. Ovo vrijedi samo kod izobličenja koja nisu prevelika, dakle kod uzbuđenja izlazne elektronke koje nije preveliko. Na sl. 105. prikazano je kako ovisi faktor izobličenja k neke pentode (AL 4) o izlaznoj snazi $\mathfrak{N}_a$. Krivulja a vrijedi za izlazni stupanj *bez* negativne reakcije. R a č u n s k i bi se uz 75%-no slabljenje pojačanja napona ($V_u' = 0,25\,V_u$) dobila krivulja c. Faktor izobličenja k bio bi prema tome još samo jedna četvrtina faktora izobličenja izlaznog stupnja bez negativne reakcije. Iz jedn. (61) dobivamo kao potrebni ulazni izmjenični napon: $\mathfrak{U}_e = (1/0,25) \cdot \mathfrak{U}_g = 4\,\mathfrak{U}_g$, to jest dobivamo č e t i r i p u t a veći ulazni izmjenični napon nego bez negativne reakcije. Ova potreba većeg izmjeničnog napona mora se nadoknaditi većim pojačanjem u predstupnjevima. S protureakcijom ne treba stoga pretjerivati, jer inače dolazi do izobličenja u predstupnjevima. Nadalje se kod $V_u = 60$ prema jedn. (60) dobiva za odnos negativne reakcije (vidi odsjek 139): $0,25 \cdot V_u = V_u/1 + \alpha \cdot 60)$, dakle $0,25 + 0,25 \cdot \alpha \cdot 60 = 1$, tako da je $\alpha = 0,75/15 = 1/20$. M j e r e n j a se međutim podudaraju s ovim rezultatima samo do $\mathfrak{N}_a = 2$ W (kod AL 4 krivulja b na sl. 105). Kod $\mathfrak{N}_a = 4$ W faktor izobličenja izlaznog stupnja s protureakcijom u stvarnosti je polovica faktora izobličenja izlaznog stupnja bez negativne reakcije. Kao što će pokazati daljnji račun, u koji nećemo pobliže ulaziti, *kod elektronke s negativnom reakcijom smanjit će se unutarnji otpor, njezin prohvat će se povećati, dok će strmina ostati ista*. Ova je činjenica od osobitog značenja upravo kod i z l a z n i h p e n t o d a, jer zbog smanjenja unutarnjeg otpora postaje izlazna pentoda u radu slična izlaznoj triodi. Tako se može otkloniti izdizanje visokih frekvencija kod izlaznih pentoda (vidi odsjek 128). Budući da se unutarnji otpor smanjuje otprilike u istom odnosu kao i pojačanje napona, može kod izlaznih pentoda uz prejaku negativnu reakciju doći i do z a p o s t a v l j a n j a v i s o k i h f r e k v e n c i j a. Ovo linearno izobličenje može se korigirati negativnom reakcijom o v i s n o m o f r e k v e n c i j i (vidi odsjek 143).



Sl. 105.

---

[23]) Pad napona na kondenzatoru C_L može se zbog vrlo malenog otpora ovog kondenzatora za izmjeničnu struju zanemariti.

Ponavljanje

N e g a t i v n o m r e a k c i j o m se poboljšava kvaliteta reprodukcije govora i muzike. U tu svrhu se dio izlaznog izmjeničnog napona pojačala dovodi ulaznom krugu nekog predstupnja dotičnog pojačala i to tako da je izlazni izmjenični napon u fazi protivan ulaznom izmjeničnom naponu. Negativna reakcija smanjuje pojačanje napona, dakle faktor pojačanja, ali i faktor izobličenja, te u pojačalu nastale nepoželjne

šumove. Kod n a p o n s k e n e g a t i v n e r e a k c i j e spaja se djelitelj izmjeničnog napona paralelno ulaznom ili izlaznom krugu izlaznog transformatora. Naponskom negativnom reakcijom smanjuje se unutarnji otpor elektronke na koju djeluje negativna reakcija, a prohvat se povećava, dok strmina ostaje nepromijenjena. Zbog toga se smanjuje pojačanje visokih tonskih frekvencija, što je od osobitog značenja kod izlaznih pentoda.

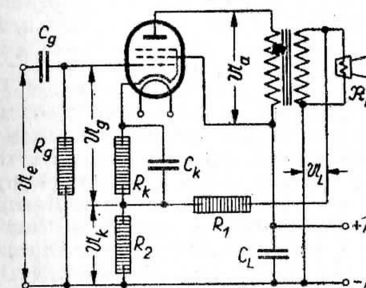
Pitanja i odgovori

Pitanje: Na kojoj se zamisli temelji negativna reakcija? *O.:* Dio izlaznog izmjeničnog napona izlaznog stupnja pojačala dovodi se ulaznom krugu nekog od predstupnjeva. Taj izlazni izmjenični napon mora da bude protivan u fazi ulaznom izmjeničnom naponu odgovarajućeg stupnja pojačala. — *P.:* Kako se dobiva izmjenični napon za negativnu reakciju? *O.:* Djeliteljem napona, koji je spojen paralelno ulaznom ili izlaznom namotaju izlaznog transformatora. — *P.:* Kakav utjecaj ima negativna naponska reakcija na rad elektronke? *O.:* Smanjuju se nelinearna izobličenja i nepoželjni šumovi nastali u pojačalu. Osim toga dolazi do smanjenja faktora pojačanja i unutarnjeg otpora elektronke, a i do povećanja prohvata. — *P.:* Koja je mana smanjenja faktora pojačanja? *O.:* Pojačalo treba veći ulazni izmjenični napon nego kada radi bez negativne reakcije. — *P.:* Koliko puta treba povećati ulazni izmjenični napon? *O.:* U istom odnosu u kojem se smanjuje faktor pojačanja. — *P.:* Koji utjecaj ima smanjenje unutarnjeg otpora elektronke s negativnom reakcijom na ovisnost pojačala o frekvenciji? *O.:* Faktor pojačanja se osobito smanjuje kod visokih tonskih frekvencija. — *P.:* Kakvo je djelovanje te pojave na rad izlazne pentode? *O.:* Izlazna pentoda izjednačuje se u radu s izlaznom triodom. Osobito otpada izdizanje visokih tonskih frekvencija.

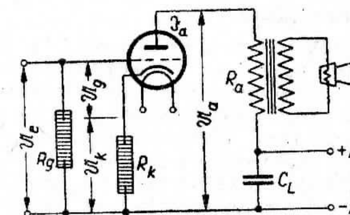
141. — Daljnji primjer za *naponsku negativnu reakciju* prikazan je na sl. 106. Ovdje se izmjenični napon negativne reakcije $\mathfrak{U}_k$ uzima s omskog otpora R_2 djelitelja napona R_1—R_2 u i z l a z n o m k r u g u izlaznog transformatora. Ukupni otpor $(R_1 + R_2)$ mora da bude mnogo veći od otpora za izmjeničnu struju zvučnika $\mathfrak{R}_L$, da bi se spriječilo dodatno opterećenje izlaznog transformatora. Kod dinamičkih zvučnika može se odabrati $(R_1 + R_2) \approx 200\,\Omega$. $\mathfrak{U}_e$ se može izračunati iz jedn. (61). Za izračunavanje V_u' prema jedn. (60) treba α zamijeniti sa $\alpha/ü$. Budući da je izmjenični napon negativne reakcije $\mathfrak{U}_k = [R_2/(R_1 + R_2)] \cdot \mathfrak{U}_L = \alpha \cdot \mathfrak{U}_L$, ako $\mathfrak{U}_L$ označuje izmjenični napon na otporu zvučnika $\mathfrak{R}_L$. Ima li izlazni transformator prijenosni odnos $ü$, bit će: $\mathfrak{U}_L = \mathfrak{U}_a/ü$. Prema tome će biti: $\mathfrak{U}_k = (\alpha/ü) \cdot \mathfrak{U}_a$, i nadalje $\mathfrak{U}_g = \mathfrak{U}_e - \mathfrak{U}_k = \mathfrak{U}_e - (\alpha/ü)\,\mathfrak{U}_a$ (usporedi odsjek 139). Zatim treba imati u vidu i to da ukupni otpor $(R_k + R_2)$ mora da ima ispravnu vrijednost zbog automatskog prednapona rešetke. U istom omjeru u kojem se R_2 poveća mora se R_k smanjiti.

142. — Osim naponske negativne reakcije upotrebljava se — doduše rjeđe — također *strujna negativna reakcija.* Ona je ovisna o jakosti anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$. U najjednostavnijem slučaju može se strujna negativna reakcija izvesti pomoću katodnog otpora R_k koji služi za dobivanje automatskog prednapona rešetke (sl. 107). Ovaj smo spoj već upoznali u odsjeku 79, te smo tamo već ukratko ukazali na negativnu

reakciju. Ispustimo sada katodni kondenzator C_k (usporedi sl. 54)! Anodna izmjenična struja $\mathfrak{J}_a$ proizvest će na otporu R_k izmjenični pad napona $\mathfrak{U}_k$ koji se može lako izračunati po Ohmovu zakonu: $\mathfrak{U}_k/\mathfrak{U}_a = R_k/R_a$, dakle: $\mathfrak{U}_k = (R_k/R_a) \cdot \mathfrak{U}_a = \alpha \cdot \mathfrak{U}_a$, uz $\alpha = R_k/R_a$ [24]. Djelovanje strujne negativne reakcije u biti je isto kao i naponske negativne reakcije, jer i ovdje izmjenični naponi $\mathfrak{U}_k$ i $\mathfrak{U}_g$, odnosno $\mathfrak{U}_e$, imaju fazni pomak od 180°. I kod strujne negativne reakcije mogu se primijeniti jedn. (60) i (61) ($R_k \ll R_a$). Ipak moramo paziti na bitnu razliku prema naponskoj negativnoj reakciji: *strujna negativna reakcija uzrokuje povišenje unutarnjeg otpora i smanjenje strmine elektronke na koju djeluje negativna reakcija, dok prohvat ostaje isti.* Strujnom negativnom reakcijom može se dakle ukloniti zapostavljanje visokih tonova pri upotrebi *trioda* (vidi odsjek 128), jer je ovo zapostavljanje uzrokovano razmjerno malenim unutarnjim otporom izlazne triode. Kod prejake negativne reakcije dolazi do izdizanja visokih tonova, što se može korigirati strujnom negativnom reakcijom o v i s n o m o f r e k v e n c i j i (vidi odsjek 143).



Sl. 106.



Sl. 107.

143. — Svi spojevi s negativnom reakcijom mogu se upotrebiti i za korekciju i za proizvođenje *linearnog izobličenja* (izobličenja frekvencija), dakle kao korektori (vidi odsjek 137). U tu je svrhu potrebno djelitelj napona na sl. 104. učiniti takvim da je *ovisan o frekvenciji,* to jest za R_1 i R_2 upotrebiti otpore ovisne o frekvenciji, na primjer tako da se otporu R_1 i R_2 paralelno spoji prigušnica ili kondenzator.[25]) Iz svega ovoga vidimo da se negativna reakcija može svestrano primijeniti za smanjivanje linearnog ili nelinearnog izobličenja. Nekoliko pri-

[24]) Ako je katodni otpor R_k za strujnu negativnu reakciju prevelik mora se podijeliti, već prema željenom stupnju negativne reakcije. Dio katodnog otpora koji je bliži katodi elektronke mora se u tom slučaju na poznati način premostiti velikim kondenzatorom.

[25]) Ako se na sl. 104. upotrebi za kondenzator C neki m a l e n i kapacitet, bit će negativna reakcija za n i s k e frekvencije smanjena uslijed velikog kapacitivnog otpora C. Doći će dakle do izdizanja niskih frekvencija (»izdizanje basova«).

mjera upoznali smo već na sl. 104, 106. i 107. Negativna reakcija može djelovati na više stupnjeva istodobno. Tada će biti korigiran rad svih stupnjeva pojačala od elektronke, na koju djeluje negativna reakcija, pa do izlazne elektronke. Pri tome treba uvijek paziti da izmjenični napon negativne reakcije ima ispravni fazni pomak prema ulaznom izmjeničnom naponu.[26] U protivnom bi došlo do *pozitivne* reakcije koja djeluje u smislu podizanja pojačanja, te može dovesti do osciliranja (samouzbuđenja) cijelog pojačala (vidi odsjek 74).

Ponavljanje

Kod strujne negativne reakcije dobiva se izmjenični napon reakcije u najjednostavnijem slučaju kao pad izmjeničnog napona uslijed anodne izmjenične struje na katodnom otporu, koji služi za dobivanje automatskog prednapona rešetke, no koji nije premošćen kondenzatorom. Uslijed strujne negativne reakcije povisuje se unutarnji otpor elektronke na koju negativna reakcija djeluje, a strmina se smanjuje, dok prohvat ostaje nepromijenjen. S tim u vezi dolazi do izdizanja visokih tonova, što je kod trioda osobito važno. Pomoću negativne reakcije ovisne o frekvenciji mogu se korigirati, odnosno prouzročiti također linearna izobličenja. Kod svih spojeva negativne reakcije treba paziti na ispravni fazni pomak izmjeničnog napona reakcije prema ulaznom izmjeničnom naponu, da bi se izbjeglo samouzbuđenje pojačala. To osobito vrijedi u slučaju ako negativna reakcija djeluje istodobno na više stupnjeva pojačala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može dobiti izmjenični napon za reakciju kod strujne negativne reakcije? *Odgovor:* Padom izmjeničnog napona anodne izmjenične struje na katodnom otporu, koji se upotrebljava za dobivanje automatskog prednapona rešetke. — *P.:* Na što treba pri tome paziti? *O.:* Inače potrebni kondenzator za premošćenje katodnog otpora treba ispustiti. — *P.:* Kako se mijenjaju radni uvjeti elektronke kod strujne negativne reakcije? *O.:* Unutarnji otpor postaje veći, a strmina manja, dok prohvat ostaje nepromijenjen. — *P.:* Kakav utjecaj ima strujna negativna reakcija na frekventnu ovisnost pojačala? *O.:* Izdižu se visoki tonovi. — *P.:* Kakav utjecaj ima ova pojava na rad izlazne triode? *O.:* Korigira se zapostavljanje visokih tonova, do čega dolazi onda kad nema strujne negativne reakcije. — *P.:* Kako se ovakav spoj s negativnom reakcijom može upotrebiti kao korektor? *O.:* Neke od otpora koji su upotrebljeni u spoju za negativnu reakciju treba učiniti ovisnim o frekvenciji (prigušnica, kondenzator). — *P.:* Kada kod pojačala s reakcijom može doći do samouzbuđenja? *O.:* Ako izmjenični napon reakcije nije u protufazi s ulaznim izmjeničnim naponom.

Pitanja

67. Zašto se gore opisana reakcija naziva negativnom reakcijom?
68. Koja je razlika između naponske i strujne negativne reakcije?
69. Koja je prednost istodobne negativne reakcije preko više stupnjeva pojačala?

[26]) Mora se pripaziti na ispravan priključak odvojnih vodova u spoju prema sl. 106, između kojih vlada izmjenični napon $\mathfrak{U}_L$. Prema prilikama potrebno je izvršiti izmjenu priključaka.

Zadaci

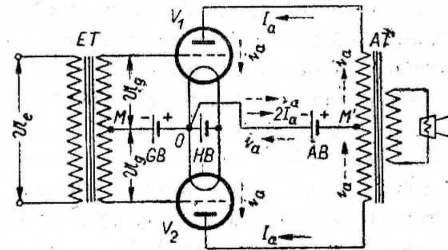
53. Faktor izobličenja neke izlazne pentode treba kod srednjeg uzbuđenja sniziti na jednu trećinu prvotne vrijednosti pomoću naponske negativne reakcije prema sl. 104. Bez negativne reakcije faktor pojačanja iznosi 30, a tjemena vrijednost izmjeničnog napona na rešetki je 12 V: a) Koliki je faktor pojačanja uz naponsku negativnu reakciju? b) Koliki mora da bude ulazni izmjenični napon da se postigne ista izlazna snaga kao bez naponske negativne reakcije? c) Koliki treba da je omski otpor R_2, ako je R_1 500 Ω.

54. U niskofrekventnom pojačalu s priključkom na električku mrežu nalazi se trioda koja je preko otporne veze priključena na izlaznu pentodu. Ukupni faktor pojačanja je 700. Faktor izobličenja pojačala treba sniziti naponskom negativnom reakcijom s izlazne strane izlaznog transformatora na oba stupnja pojačala: a) Nacrtaj osnovnu shemu dvostepenog pojačanja s naponskom negativnom reakcijom! b) Koliki je ukupni faktor pojačanja, ako otpori upotrebljeni za naponsku negativnu reakciju imaju 150 Ω i 25 Ω, a prijenosni odnos izlaznog transformatora je 20? c) Na koliko će se smanjiti faktor izobličenja? d) Koliki je faktični izmjenični napon na rešetki uz ulazni izmjenični napon od 15 V (tjemena vrijednost)?

Protufazno A-pojačalo

144. — Snaga nekog izlaznog stupnja može se paralelnim spajanjem dviju jednakih elektronki povisiti. U tom se slučaju paralelno spajaju obje anode i obje uzbudne, odnosno zaštitne rešetke. Istosmjerna snaga je pri tome dvostruko veća nego kod jedne jedine elektronke, te se tako uz isti uzbudni izmjenični napon dobiva također dvostruka izlazna snaga (uz isto izobličenje). Ukupni unutarnji otpor paralelno spojenih elektronki napola je manji, te se prema tome mora i najpovoljniji prilagodni otpor sniziti na polovicu vrijednosti od one koja vrijedi samo za jednu elektronku.

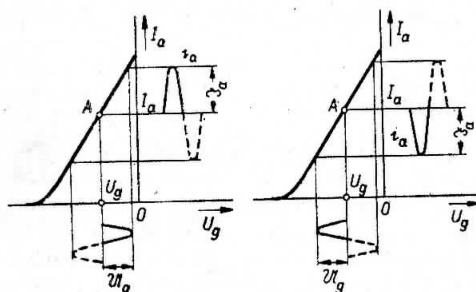
145. — Znatno povoljnije nego u paralelnom spoju rade dvije jednake elektronke u *protufaznom spoju.* Na sl. 108. prikazan je osnovni spoj izlaznog stupnja u protufaznom spoju s baterijskim pogonom. Cijeli spoj građen je savršeno simetrično. *Ulazni transformator ET* ima tačno u sredini izlaznog namotaja odvojak *M* koji je preko baterije *GB* (negativni prednapon rešetke za obje elektronke!) spojen sa nul-tačkom 0. *Izlazni transformator AT* ima također tačno u sredini ulaznog namotaja odvojak *M'* koji je preako anodne



Sl. 108.

baterije *AB* spojen također sa nul-tačkom 0. Svaka polovica anodne istosmjerne struje I_a teče kroz svoju polovicu ulaznog namotaja izlaznog

transformatora i pri tome obje ove struje teku jedna drugoj nasuprot. Anodna istosmjerna struja je prema tome u srednjem spojnom vodiču OM' jednaka $2\,I_a$ (usporedi puno izvučenu strelicu na sl. 108). Ulazni izmjenični napon $\mathfrak{U}_e$ proizvodi na krajevima izlaznog namotaja transformatora ET neki izmjenični napon. Ako je u jednom času gornji kraj izlaznog namotaja ET pozitivan, bit će donji kraj ovog namotaja negativan (prema srednjem odvojku M). Naponi rešetke obiju elektronki V_1 i V_2 imaju u svakom momentu fazni pomak od 180°, to jest obje elektronke rade u p r o t u f a z n o m s p o j u. Budući da je s obzirom na izmjeničnu struju srednji odvojak M transformatora ET na nulpotencijalu, dobivaju obje elektronke na rešetki po veličini jednake, ali *u fazi protivne* izmjenične napone s tjemenom vrijednošću $\mathfrak{U}_g$ (sl. 108). Ako je dakle anodna struja elektronke V_1 upravo u porastu, mora anodna struja elektronke V_2 biti u opadanju. Ovo se može također jasno razabrati ako se usporede U_g—I_a-karakteristike obiju elektronki na sl. 109. Radna tačka A leži u s r e d i n i ravnog dijela karakteristike. Zato ovdje govorimo o *protufaznom A-pojačalu* (usporedi odsjek 103). Iz rečenoga slijedi da također obje anodne izmjenične struje $\mathfrak{i}_a$ s tjemenom vrijednošću $\mathfrak{J}_a$ određene protufaznim izmjeničnim naponima na rešetkama moraju da budu također *protufazne* (usporedi crtkane strelice na sl. 108. koje vrijede za neki stanoviti trenutak). Osobito treba napomenuti da se momentane vrijednosti anodnih izmjeničnih struja u srednjem spojnom vodiču OM' p o n i š t a v a j u, te prema tome u tom vodiču ne teče nikakva izmjenična struja, nego samo istosmjerna struja jakosti $2\,I_a$.

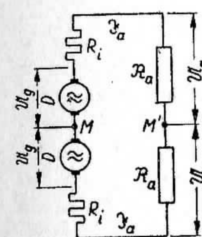


Sl. 109.

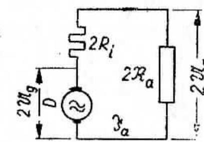
146. — U obje polovice ulaznog namotaja izlaznog transformatora AT teku j e d n a k e anodne izmjenične struje $\mathfrak{i}_a$. No ove se anodne izmjenične struje $\mathfrak{i}_a$ ne smiju zbrajati, jer svaka od njih teče samo kroz jednu polovicu transformatora.[27] Ako najpovoljniji prilagodni otpor u oba anodna kruga označimo sa $\mathfrak{R}_a$, možemo *protufazni spoj* s gledišta izmjenične struje smatrati *serijskim spojem* dvaju generatora izmjenične struje, te prema odsjeku 55. i sl. 46.-a dobivamo nadomjesnu shemu protufaznog spoja prikazanu na sl. 110. Spojni vod MM' može se ovdje izostaviti, jer u tom vodiču ne teče prema odsjeku 145. izmjenična struja. Svaka od anodnih struja $\mathfrak{J}_a$ daje na prilagodnom

[27]) No zbrajaju se inducirani naponi koje anodne izmjenične struje proizvode u objema polovicama namotaja transformatora AT.

otporu $\mathfrak{R}_a$ samo po jedan anodni izmjenični napon tjemene vrijednosti $\mathfrak{U}_a$. Kako se kod serijskog spoja naponi i otpori zbrajaju, dobivamo iz sl. 110. pojednostavnjenu nadomjesnu shemu prikazanu na sl. 111. Iz ove sheme razabiremo slijedeće: kod protufaznog spoja dviju izlaznih elektronki su ukupni izmjenični napon rešetke $2\,\mathfrak{U}_g$, unutarnji otpor elektronki $2\,R_i$, najpovoljniji prilagodni otpor $2\,\mathfrak{R}_a$ i anodni izmjenični napon $2\,\mathfrak{U}_a$ *dva puta veći*, a anodna izmjenična struja $\mathfrak{J}_a$ *isto tako velika* kao kod j e d n e j e d i n e izlazne elektronke. Za izlaznu snagu protufaznog spoja dobivamo dakle iz jedn. (52): $\mathfrak{N}_a = 2\mathfrak{U}\cdot\mathfrak{J}_a/2 = \mathfrak{U}_a\cdot\mathfrak{J}_a$, to jest dvostruko više nego samo za jednu elektronku. Ukupna istosmjerna snaga $N_a = U_a\cdot I_a + U_a\cdot I_a = 2\cdot U_a\cdot I_a$ također je *dva puta veća* nego kod jedne elektronke, jer su obje *s obzirom na istosmjernu struju spojene paralelno* te obje imaju isti anodni napon, isti prednapon rešetke i isti napon žarenja. Kako je prema odsjeku 144. izlazna snaga izlaznog stupnja u *paralelnom* spoju dviju jednakih elektronki također *dvostruka*, izgleda kao da protufazni spoj nema nikakvih prednosti pred paralelnim spojem. Protufazni spoj zahtijeva dva puta veći ulazni izmjenični napon, transformatore s odvojkom i sa simetričnim namotajima, te po mogućnosti elektronke jednakih karakteristika. U slijedećem razmatranju uvjerit ćemo se da protufazni spoj ima znatne prednosti pred paralelnim spojem, te se unatoč većem utrošku isplaćuje.



Sl. 110.



Sl. 111.

Ponavljanje

Da se poveća izlazna snaga nekog izlaznog stupnja mogu se d v i j e izlazne elektronke upotrebiti u paralelnom ili u protufaznom spoju. U *protufaznom spoju* dobivaju obje elektronke p r o t u f a z n e izmjenične napone na rešetke preko ulaznog transformatora s odvojkom, zbog čega su i anodne izmjenične struje protufazne. Objema izlaznim elektronkama dovodi se anodni istosmjerni napon preko srednjeg odvojka izlaznog transformatora. Protufazni spoj se se s o b z i r o m n a i z m j e n i č n u s t r u j u može smatrati serijskim spojem, a s obzirom na i s t o s m j e r n u s t r u j u p a r a l e l n i m s p o j e m d v a j u g e n e r a t o r a. Unutarnji otpor elektronke, najpovoljniji prilagodni otpor, ulazni izmjenični napon, anodni izmjenični napon, izlazna snaga i istosmjerna snaga kod protufaznog spoja d v o s t r u k o su v e ć i nego kod jedne izlazne elektronke, dok je anodna izmjenična struja isto tako velika kao kod jedne izlazne elektronke.

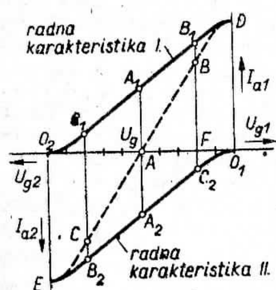
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može izlazna snaga nekog izlaznog stupnja podvostručiti zadržavši isti tip elektronki? *Odgovor:* Upotrebom dviju izlaznih elektronki u paralelnom ili u protufaznom spoju. — *P.:* Koje su osobite karakteristike protufaznog spoja? *O.:* Ulazni transformator s odvojkom u sredini izlaznog namotaja i izlazni transformator s odvojkom u sredini ulaznog namotaja. — *P.:* Čemu služi ulazni transformator s odvojkom?

O.: Proizvođenju dvaju p r o t u f a z n i h izmjeničnih napona za rešetke izlaznih elektronki. — P.: Kakvo je djelovanje protufaznih izmjeničnih napona rešetki? O.: Oni uzrokuju dvije protufazne anodne izmjenične struje. — P.: Kojom se nadomjesnom shemom s obzirom na izmjeničnu struju može prikazati protufazni spoj? O.: Serijskim spojem dvaju generatora izmjenične struje. — P.: Koliki je unutarnji otpor elektronke, najpovoljniji prilagodni otpor, ulazni izmjenični napon, anodni izmjenični napon, te izlazna snaga kod protufaznog spoja? O.: Dvostruko veći nego kod jednostavnog izlaznog stupnja. — P.: Daju li dvije izlazne elektronke u paralelnom spoju i u protufaznom spoju jednaku izlaznu snagu? O.: Da, i to samo onda ako je ulazni izmjenični napon kod protufaznog spoja d v a p u t a veći nego kod paralelnog spoja.

147. — Protufazni spoj ima pred paralelnim spojem dviju elektronki više važnih *prednosti*. Obje jednako velike anodne istosmjerne struje I_a teku kroz obje polovice ulaznog namotaja izlaznog transformatora u *oba smjera* (vidi odsjek 145 i sl. 108). Uslijed toga se poništavaju u željeznoj jezgri izlaznog transformatora od obiju anodnih istosmjernih struja proizvedeni magnetski tokovi, tako da uopće *ne dolazi* do *predmagnetiziranja željezne jezgre*. Otpadaju dakle ovdje i nelinearna izobličenja, koja mogu nastati zbog magnetskog zasićenja željezne jezgre od prejake anodne istosmjerne struje (vidi odsjek 92). Uslijed toga što nema predmagnetiziranja, postizava se veći ulazni induktivitet izlaznog transformatora (usporedi opasku iz odsjeka 28). Kod protufaznog izlaznog transformatora izlazimo dakle s manjim presjekom željezne jezgre nego kod običnog izlaznog transformatora.

148. — Kako izlazne elektronke protufaznog spoja rade u p r o t u f a z i, možemo obje radne U_g—I_a-karakteristike I i II (sl. 112) tako nacrtati jednu preko druge da radne tačke A_1 i A_2 leže simetrično prema negativnom prednaponu rešetke U_g (pazi na smjer strelica u sl. 112!). *Zajednička radna karakteristika DBACE* dobiva se grafičkim odbijanjem obiju anodnih istosmjernih struja, na primjer B_1F — C_2F = BF. Vidimo da je ova radna karakteristika, po kojoj se odvija proces pojačanja, znatno strmija i ravnija nego radna karakteristika I i II. Uzbuđujemo li protufazni izlazni stupanj samo na r a v n o m d i j e l u k a r a k t e r i s t i k a B_1C_1 i B_2C_2, odnosno na odgovarajućem dijelu karakteristike BC, neće dolaziti do izobličenja. U *ovom* slučaju mogu karakteristike izlaznih elektronki biti i međusobno različite. Važno je samo da je radna tačka svake elektronke u sredini ravnog dijela karakteristike. Pri prejakom uzbuđenju dolazimo u zakrivljeni dio karakteristike BD i CE tako da usprkos protufaznom spoju mora doći do nelinearnog izobličenja. Kako je zajednička radna karakteristika obzirom na radnu tačku A potpuno *simetrična, u izobličenoj anodnoj izmjeničnoj struji nisu sadržani drugi harmonici, niti uopće parni harmonici. No sadržani su treći i ostali neparni hamonici* (vidi odsjek 109). Ova je činjenica jedna od najvažnijih prednosti protufaznog spoja. U tome je razlog da je faktor izobličenja protufaznog spoja s triodama naročito malen, jer je u izobličenju izlazne *triode* uglavnom sadržan drugi harmonik (vidi odsjek 113). Kako je faktor izobličenja *izlazne pentode* dan uglavnom s *trećim harmonikom* (vidi odsjek 114), nema protufazni spoj s pentodama obzirom na smanjenje faktora izobličenja tako povoljno djelovanje kao protufazni spoj s triodama. No i u ovom će slučaju biti ukupni faktor izobličenja smanjen uslijed poništavanja drugog harmonika[28]).



Sl. 112.

149. — Daljnja prednost protufaznog spoja je u tome što se *smanjuje* brujanje (smetnje iz rasvjetne mreže). Izmjenični napon raznih smetnji, koji preko srednjeg odvojka M dolazi na ulazni transformator ET (vidi sl. 108), pojavljuje se na uzbudnim rešetkama obiju elektronki *u istoj fazi*. Uslijed toga se u objema polovicama ulaznog namotaja izlaznog transformatora inducirani naponi, koji nastaju od izmjeničnih anodnih struja uzbuđenih naponom brujanja na rešetkama, međusobno poništavaju. Kod protufaznog spoja omogućeno je dakle da se zbog njegovog filtarskog djelovanja filtri ispravljača slabije dimenzioniraju. Osim toga može se protufaznim spojem postići *nešto veća izlazna snaga* nego paralelnim spojem, a uz isti faktor izobličenja. Izlazni stupanj u protufaznom spoju može se naime do područja zakrivljenja karakteristike jače uzbuditi nego jedna izlazna elektronka sama, i to zbog toga što se d r u g i harmonici u protufaznom spoju poništavaju. S time se ne smije ići predaleko, jer bi inače ukupni faktor izobličenja uslijed porasta trećeg harmonika postao prevelik. Pri upotrebi izlaznih trioda u protufaznom spoju može se računati s povećanjem snage do 25%. Iz svega rečenog slijedi da protufazno A-pojačalo ima prednost pred svim ostalim izlaznim stupnjevima, osobito uz upotrebu izlaznih trioda, te je zato ovo najbolji spoj za kvalitativnu reprodukciju glazbe.

150. — Na sl. 113. prikazan je potpuno spoj *pojačala* s priključkom na električku mrežu. Cijeli se spoj sastoji od stupnjeva koje smo dosada opisali, naime od transformatorskog *pretpojačala* (usporedi sl. 70), od *izlaznog protufaznog stupnja* (usporedi sl. 108) i od *dvotaktnog ispravljača* (usporedi sl. 12). Ulazni izmjenični napon dolazi preko ulaznog transformatora ET na uzbudnu rešetku triode V_1 (na primjer AC 2). Ulazni transformator ima dva odijeljena ulazna namotaja, da bi se na stezaljkama RE mogao priključiti prijemnik, a na stezaljkama TA električka zvučnica. Prijenosni odnosi iznose na primjer 1 : 4 (za RE) i 1 : 10 (za TA). Pomoću R_1—C_1 dobiva se automatski prednapon rešetke elektronke V_1 (usporedi odsjeke 72 i 79). Pojačani izmjenični naponi, koji nastanu na

[28]) Pri upotrebi izlaznih pentoda u protufaznom spoju može se faktor izobličenja još više smanjiti, ako se uvjeti prilagođenja tako odaberu da se linearna izobličenja sastoje uglavnom od parnih nadvalova, koji se tada uslijed protufaznog djelovanja međusobno poništavaju.

anodnom otporu R_2, dovode se preko kondenzatora C_2 (električka skretnica) ulaznom namotaju protufaznog međutransformatora ZT ($ü = 3$, usporedi odsjek 93). Elementi spoja R_3—C_3 djeluju kao zapor protiv reakcije (usporedi odsjek 75). Izlazni stupanj radi s izlaznim triodama (na primjer AD 1). Izlazni namotaj izlaznog protufaznog transformatora AT ima više odvojaka da bi se mogli priključiti zvučnici s različitim impedancijama (vidi odsjek 131). Anodni istosmjerni napon i izmjenični napon žarenja dobavlja ispravljač s dvotaktnom ispravljačicom G (na primjer RGN 2004) i mrežnim transformatorom NT. Namotaj a—b predviđen je za žarenje elektronke V_1, a namotaj c—d, odnosno e—f, za žarenje izlaznih elektronki V_2 i V_3. C_5 je ulazni kondenzator filtra, dok prigušnica Dr i kondenzator C_4 djeluju kao filtarski spoj (usporedi odsjeke 27 i 28). Za velike kapacitete C_1, C_4, C_5, C_8 i C_9 upotrebit će se elektrolitski kondenzatori, pri čemu treba paziti na ispravni polaritet i maksimalni pogonski istosmjerni napon (usporedi dio I, odsjeke 59 i 60, te sl. 53-a). Kroz promjenljive žičane otpore R_4 i R_5 teče anodna istosmjerna struja odgovarajuće elektronke. Pomoću ovih otpora dobiva se automatski prednapon za rešetke. Svaka izlazna elektronka dobiva dakle svoj vlastiti prednapon rešetke. Otpore R_4 i R_5 treba namjestiti tako da anodne istosmjerne struje budu jednake i da odgovaraju propisanoj vrijednosti. Kontrola se može izvršiti pojedinačno uključivanjem miliampermetra u svaki od anodnih krugova. Svi se minus-priključci dovode na zajednički u shemi debelo nacrtani minus-vod, koji je uzemljen preko stezaljke E. Za temeljnu ploču za gradnju pojačala upotrebljava se neka metalna ploča (aluminij), tako da su sve željezne jezgre transformatora i prigušnica u spoju s ovim metalnim nosačem (na sl. 113 označen znakom uzemljenja ⏚). Metalni se nosač također spaja s uzemnom priključnicom E. Ulazna strana mrežnog transformatora NT osigurana je finim osiguračem, te se preko dvopolnog utikača priključuje na mrežu izmjenične struje.

Sl. 113.

Ponavljanje

Protufazni spoj ima prema paralelnom spoju dviju izlaznih elektronki ove osobite prednosti: izlazni transformator radi bez predmagnetiziranja, budući da obje jednako velike anodne istosmjerne struje ulaznog namotaja teku u protivnom smjeru. Time se smanjuju nelinearna izobličenja koja bi nastala uslije magnetskog zasićenja željezne jezgre. Nadalje uslijed samog protufaznog spoja dolazi do *smanjenja faktora izobličenja*, jer se drugi i svi parni harmonici poništavaju. U protufaznom spoju se osim toga *smanjuje mrežno brujanje*, jer se istofazni napon brujanja doveden preko srednjeg odvojka ulaznog transformatora na izlazu poništava, a isto tako i napon brujanja u nedovoljno filtriranom anodnom naponu. *Izlazna snaga pojačala* u protufaznom spoju *nešto je veća* nego kod pojačala s paralelno spojenim izlaznim elektronkama, a uz isti faktor izobličenja. Uslijed spomenutih prednosti gradi se izlazni stupanj osobito kvalitetnih uređaja za reprodukciju glazbe redovito u protufaznom A-spoju.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje dobre posljedice ima protufazni spoj obzirom na izlazni transformator? *Odgovor:* Nema predmagnetiziranja željezne jezgre, te tako otpadaju i nelinearna izobličenja koja nastaju uslijed magnetskog zasićenja željezne jezgre. — *P.:* Da li je faktor izobličenja u protufaznom spoju isto tako velik kao kod paralelnog spoja dviju izlaznih elektronki? *O.:* Ne, faktor izobličenja je kod protufaznog spoja znatno manji. — *P.:* Čime se ovo objašnjava? *O.:* Drugi i svi parni harmonici poništavaju se uslijed protufaznog djelovanja. — *P.:* Da li je snaga izlaznog stupnja u protufaznom spoju isto tako velika uz jednak faktor izobličenja kao u paralelnom spoju? *O.:* Protufazni spoj daje nešto veću izlaznu snagu. — *P.:* Kako je to moguće? *O.:* Izlazne elektronke se u protufaznom spoju mogu jače uzbuditi, budući da otpadaju drugi, odnosno svi parni harmonici. — *P.:* Koju smo daljnju prednost protufaznog spoja upoznali? *O.:* Protufazni spoj pokazuje filtarsko djelovanje s obzirom na brujanje iz mreže, koje prodire preko srednjeg odvojka ulaznog transformatora.

Pitanja

70. U čemu se razlikuje protufazni izlazni stupanj s obzirom na izmjeničnu struju od paralelnog spoja?

71. Da li se prednosti protufaznog spoja očituju i kod primjene pentoda u izlaznom stupnju?

72. Čime se tumači filtarsko djelovanje protufaznog spoja na napon brujanja iz mreže?

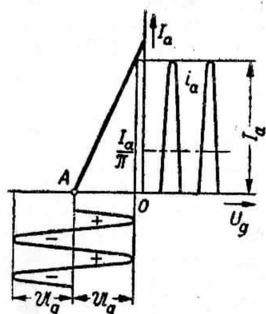
Zadaci

55. Najpovoljniji prilagodni otpor neke izlazne triode iznosi 2,3 kΩ, a otpor zvučnika 10 Ω. Koji prijenosni odnos mora da ima izlazni transformator: a) kod jednostavnog spoja izlazne elektronke, b) kod paralelnog spoja, i c) kod protufaznog spoja dvaju izlaznih elektronki?

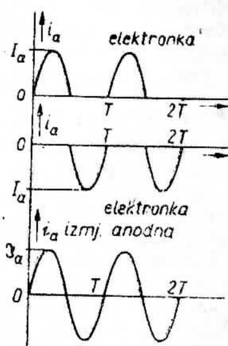
56. Anodna struja pretposljednjeg stupnja V_1 pojačala na sl. 113. iznosi 2,5 mA, dok obje izlazne elektronke V_2 i V_3 imaju anodnu struju po 60 mA: a) Koliki mora da bude R_1 da se dobije prednapon rešetke od —4 V? b) Koliki moraju da budu otpori R_4 i R_5 da se dobije rešetkin prednapon od —48 V? c) Koji kapacitet moraju da imaju kondenzatori C_1, C_8 i C_9? d) Koji pad istosmjernog napona imamo na prigušnici Dr, ako je njezin omski otpor 300 Ω? e) Koliki je istosmjerni napon na anodama izlaznih elektronki, ako je istosmjerni napon na kondenzatoru C_5 350 V, a ukupni omski otpor ulaznog namotaja izlaznog transformatora iznosi 500 Ω?

Protufazno B-pojačalo

151. — Stupanj iskoristivosti izlaznog stupnja u protufaznom spoju može se znatno povisiti na taj način da se radna tačka ne smjesti kao kod protufaznog A-pojačala u sredinu ravnog dijela radne karakteristike, nego u područje tako velikog negativnog prednapona rešetke, da anodna struja mirovanja bude vrlo malena ili čak jednaka nuli. Protufazni izlazni stupanj radi tada prema sl. 103. kao *protufazno B-pojačalo.* Na sl. 114. prikazan je način rada za slučaj savršeno ravne radne karakteristike. Ovdje se u načelu radi o istim pojavama koje smo već upoznali u dijelu I sl. 133. Samo pozitivni poluvalovi izmjeničnog napona rešetke $\mathfrak{U}_g$ *daju pulsirajuću andonu struju* i_a, kojoj je srednja vrijednost prema jedn. (12) jednaka $I_a/\pi = 0{,}318\, I_a$ ako I_a predočuje tjemenu vrijednost (sl. 114 i 115, gore). Budući da druga elektronka radi baš u onim poluperiodama u kojima kroz prvu elektronku anodna struja

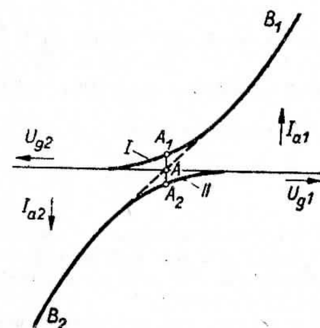


Sl. 114.



Sl. 115.

uopće ne teče, nastaje još i druga pulsirajuća anodna struja prikazana na sl. 115. u sredini. Obje se pulsirajuće anodne struje u protufaznom izlaznom transformatoru zbrajaju u jednu *anodnu izmjeničnu struju* i_a s tjemenom vrijednošću $\mathfrak{J}_a = I_a$ (sl. 115 dolje, pazi na smjer strelica anodnih istosmjernih struja na sl. 108). Da nastane *sinusoidna* izmjenična struja mora dakle niskofrekventno B-pojačalo raditi uvijek u protufaznom spoju



Sl. 116.

152. — Na sl. 116. vidimo kako se sastavljaju faktične radne karakteristike I i II izlaznih elektronki u protufaznom spoju u crtkanu *radnu karakteristiku* B_1AB_2 (usporedi sl. 112). Ova radna karakteristika je u okolini zajedničke radne tačke A slabo zakrivljena. Što se dalje radne tačke A_1 i A_2 pomiču prema početnoj tački pojedine karakteristike, to je više savijena i zajednička radna karakteristika u blizini tačke A. Negativni prednapon rešetke ne smijemo dakle odabrati suviše velikim, to jest anodna struja mirovanja ne smije biti suviše malena Iz ovoga slijedi da kod protufaznog B-pojačala može doći *do jakog nelinearnog izobličenja već kod malih izmjeničnih napona na rešetki* dok

su kod većih izmjeničnih napona ova izobličenja manja, jer je karakteristika u daljnjem svom toku ravnija.[29]) Protufazno A-pojačalo ponaša se upravo obratno. Zbog toga je protufazno B-pojačalo osobito prikladno za provođenje velikih izlaznih snaga i u tom slučaju ima prednost pred protufaznim A-pojačalom. Nelinearna izobličenja mogu se kod malih uzbudnih napona smanjiti ako se radne tačke A_1 i A_2 smjeste, doduše na donjem, ali već ravnom dijelu radne karakteristike I i II, dakle uz nešto veću anodnu struju mirovanja. Tada govorimo o *protufaznom AB-pojačalu.* Pojačalo u tom slučaju radi kod malenih uzbudnih napona kao A-pojačalo, a kod većih kao B-pojačalo. Faktor izobličenja nekog protufaznog B-pojačala, odnosno AB-pojačala, određen je kao i kod svakog protufaznog spoja veličinom trećeg i svih neparnih harmoničkih nadvalova (vidi odsjek 148). Kako radna tačka kod protufaznog B-pojačala leži gotovo u početnoj tački radne karakteristike, to je za dobivanje iste snage kao kod protufaznog A-pojačala (uz uzbuđivanje do tačke, u kojoj se javlja struja rešetke) potreban otprilike *dvostruko veći uzbudni napon.*

153. — Protufazno B-pojačalo ima veliku prednost u tome što je anodna struja mirovanja u neuzbuđenom stanju (bez signala na rešetki) vrlo malena, a postaje veća tek onda ako se pojačalo uzbuđuje. Kod protufaznog A-pojačala anodna struja mirovanja često je prilično velika, i to bez obzira da li je pojačalo uzbuđeno ili nije. Odavle slijedi da protufazno B-pojačalo ima *mnogo veći stupanj iskoristivosti,* doduše uz nešto veći faktor izobličenja nego protufazno A-pojačalo. Izlazni stupanj u B-pojačalu može u teoretski najpovoljnijem slučaju uz istu snagu gubitka na anodi (vidi odsjek 106) davati otprilike *pet puta veću snagu* nego A-pojačalo s istim izlaznim elektronkama. Možemo dakle s manjim i jeftinijim izlaznim elektronkama postići istu izlaznu snagu kao kod A-pojačala s mnogo jačim elektronkama i s višim anodnim istosmjernim naponom. Ova činjenica vrlo je važna za gradnju velikih pojačala. Nadalje je protufazno B-pojačalo zbog malog potroška anodne istosmjerne struje vrlo prikladno za *baterijske izlazne stupnjeve* (na primjer u putnim prijemnicima). Dobivanje *negativnog prednapona* rešetke kod baterijskog pogona ne čini osobite poteškoće kao kod pogona s priključkom na električku mrežu. Dobivanje automatskog prednapona rešetke pomoću katodnog otpora ne može se uslijed vrlo malene anodne struje mirovanja i njezine ovisnosti o momentanom izmjeničnom naponu rešetke kod protufaznog B-pojačala nikako primijeniti. Negativni prednapon rešetke mora ostati uvijek jednako velik i ne smije ovisiti o struji izlazne elektronke, jer bi inače imali neprestano pomicanje radne tačke. Zato se najčešće mrežnom transformatoru dodaje poseban namotaj koji preko suhog ispravljača ili ispravljačice daje potrebni negativni prednapon.

---

[29]) Kod vrlo velikih uzbudnih napona bit će faktor izobličenja zbog zakrivljenja zajedničke radne karakteristike i opet sve veći.

Ponavljanje

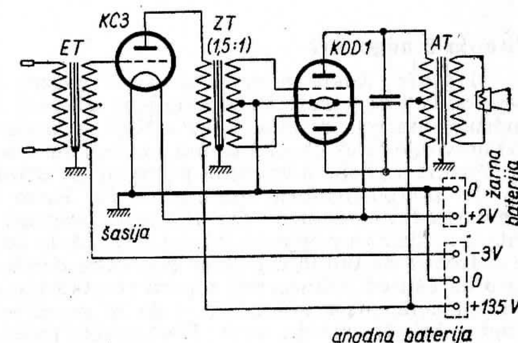
Kod p r o t u f a z n o g B - p o j a č a l a leži radna tačka u blizini početne tačke radne karakteristike pojedine izlazne elektronke. Izlazne elektronke u protufaznom radu proizvode pulsirajuće struje, koje se u izlaznom transformatoru sastavljaju u anodnu izmjeničnu struju. Faktor izobličenja protufaznog B-pojačala kod malih izmjeničnih napona na rešetki veći je nego kod protufaznog A-pojačala. Ovaj nedostatak se može ublažiti pomicanjem radne tačke u ravniji dio radne karakteristike (p r o t u f a z n o AB - p o j a č a l o). Protufazno B-pojačalo treba za puno uzbuđenje (do tačke u kojoj se javlja struja rešetke) otprilike dva puta toliki uzbudni napon kao protufazno A-pojačalo. Uslijed toga dobivamo mnogo veći stupanj iskoristivosti, i uz istu snagu gubitka na anodi u najpovoljnijem slučaju peterostruku izlaznu snagu prema onoj kod protufaznog A-pojačala. Kod protufaznog B-pojačala s priključkom na mrežu mora se prednapon rešetke zbog promjenljive anodne istosmjerne struje proizvoditi pomoću p o s e b n o g ispravljača.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Gdje se nalazi radna tačka protufaznog B-pojačala? *Odgovor:* U blizini početne tačke radne karakteristike pojedine izlazne elektronke, dakle kod vrlo malih vrijednosti anodnih istosmjernih struja. — *P.:* Kako dolazi do anodne izmjenične struje kod protufaznog B-pojačala? *O.:* Sastavljanjem pulsirajućih struja izlaznih elektronki u izlaznom transformatoru. — *P.:* Koju osobitost pokazuje zajednička radna karakteristika protufaznog B-pojačala? *O.:* Ona je u okolini radne tačke slabo zakrivljena. — *P.:* Koje posljedice iz toga slijede? *O.:* Kod malenih uzbudnih napona faktor izobličenja je razmjerno velik. — *P.:* Kako se može taj nedostatak ukloniti? *O.:* Radnu tačku treba pomaknuti na ravniji dio karakteristike. — *P.:* Kako zovemo takvo pojačalo? *O.:* Protufazno AB-pojačalo. — *P.:* Koje su prednosti protufaznog B-pojačala pred protufaznim A-pojačalom? *O.:* Ono ima mnogo veći stupanj iskoristivosti, tako da se s manjim izlaznim elektronkama i s malenim anodnim istosmjernim naponom može postići velika izlazna snaga. — *P.:* Kako se kod protufaznog B-pojačala s priključkom na električku mrežu dobiva prednapon rešetke za izlazne elektronke? *O.:* Pomoću posebnog ispravljača s ispravljačicom ili sa suhim ispravljačem.

154. — Kod svih dosada opisanih pojačala postavljali smo uvjet da se elektronka smije uzbuditi samo do tačke u kojoj se javlja struja rešetke, jer bi inače nastala jaka nelinearna izobličenja. Kod *protufaznog pojačala* postoji ipak mogućnost da se i *pozitivni dio napona rešetke iskoristi* za uzbuđivanje izlazne elektronke (vidi odsjek 103). Izobličenja nastala uslijed struje rešetke bit će većim dijelom uslijed protufaznog djelovanja kompenzirana. U tom slučaju se uzbuđivanje izlazne elektronke ne v r š i b e z u t r o š k a e n e r g i j e, te se zbog toga na predstupnjeve postavljaju osobiti zahtjevi. Kako pretposljednji stupanj pojačala daje snagu izlaznom stupnju, nazivamo ga također *pogonskim stupnjem*. Pretposljednji stupanj pojačala mora da dobavlja i z m j e n i č n u s n a g u r e š e t k i posljednjeg stupnja. Ovaj stupanj dakle više ne radi samo kao pogonsko pojačalo, nego također kao *pojačalo snage*. Rešetka-katoda svake izlazne elektronke djeluje uslijed zakrivljenja U_g—I_g-karakteristike kao nelinearni opteretni otpor, koji je spojen paralelno ulaznom protufaznom transformatoru. Nelinearni promjenljivi otpor rešetka-katoda izlazne elektronke prenesen transformatorom na anodni krug pogonskog stupnja čini anodnu impedanciju $\mathfrak{R}_a$ pogonske elektronke također nelinearnom i ovisnom o veličini uzbuđenja. Ovim uvjetovana nelinearna izobličenja i promjene faktora pojačanja mogu se držati dovoljno malenim, ako je *malen unutarnji otpor pogonske elektronke* (trioda!). Mora dakle da bude $R_i \ll \mathfrak{R}_a$. S istoga razloga mora također izlazni namotaj protufaznog ulaznog transformatora da ima po mogućnosti što manji omski otpor, dakle malen broj zavoja. Prijenosni odnos $ü = w_1/w_2$ ovog transformatora odabire se nasuprot dosada opisanim slučajevima većim od jedan (na primjer 2 : 1 umjesto uobičajenog 1 : 2), tako da otpor rešetkinog kruga pojedine izlazne elektronke djeluje kao $(2\,ü)^2$ puta *veći* otpor u anodnom krugu pogonske elektronke, te uslijed toga nema više tako velik utjecaj na veličinu pojačanja.[30] U većim pojačalima uzima se kao pogonska elektronka neka manja elektronka (na primjer RE 604, odnosno LK 406). Za dobivanje prednapona rešetke protufaznog B-pojačala vrijedi isto što je već rečeno u odsjeku 153.

155. — Protufazno B-pojačalo s iskorištavanjem pozitivnog područja napona rešetke radi najpovoljnije onda ako se kao *izlazne elektronke upotrebe triode* s tako malenim prohvatom, *da kod napona rešetke nula* imaju tek naznatnu anodnu struju mirovanja. U tom slučaju otpada posebni prednapon rešetke, što je znatan dobitak na anodnom istosmjernom naponu i na izlaznoj snazi (putni baterijski prijemnici!). Kod takvih se B-pojačala već uz malene izmjenične napone na rešetki javlja znatna struja rešetke. Na sl. 117. prikazan je spoj protufaznog B-pojačala s pogonom na baterije, kod kojeg izlazni stupanj radi bez posebnog prednapona rešetke.



Sl. 117.

Anodni napon iznosi samo 135 V, napon žarenja 2 V. *Pogonska elektronka* KC 3 ima negativni prednapon rešetke —3 V, najveću strminu 2,4 mA/V, prohvat 4% i unutarnji otpor 10 kΩ. *Izlazna elektronka* KDD 1 sastoji se od dviju jednakih trioda s paralelno spojenim žarenjem. Ukupna anodna struja mirovanja iznosi samo 3 mA (kod $U_g = 0$; srednji odvojak ulaznog protufaznog transformatora *ZT* spojen

---

30) U svakom momentu radi samo jedna izlazna elektronka na polovicu namotaja izlaznog transformatora.

je na negativni kraj žarne niti, najpovoljniji prilagodni otpor je 10 kΩ (računa se od anode do anode). Ova izlazna duotrioda može usprkos vrlo malenom naponu anodne baterije od 135 V davati izlaznu snagu od 2 W uz faktor izobličenja od 10%. Na rešetki pogonske elektronke KC 3 potreban je izmjenični napon od 2 V_{ef}. Kondenzator spojen paralelno ulaznom namotaju izlaznog transformatora *AT* ima kapacitet od 5 000 pF i zadatak mu je da spriječi eventualno osciliranje izlaznog stupnja.

Ovim završavamo iscrpna razlaganja o niskofrekventnim pojačalima, koja su nam dala dubok uvid u način rada raznih elektronki i njihovu svestranu primjenu. U slijedećem poglavlju upoznat ćemo demodulatore i malo zatim potpune prijemnike.

Ponavljanje

Kod primjene protufaznog spoja mogu izlazne elektronke biti uzbuđene do u pozitivno područje napona rešetke. Uzbuđivanje izlaznih elektronki ne vrši se tada više bez utroška energije, te se potrebna izmjenična snaga za rešetke izlaznih elektronki dobiva od pretposljednjeg stupnja (pogonskog stupnja) pojačala. Zbog smanjenja nelinearnih izobličenja mora unutarnji otpor pogonske elektronke, te omski otpor izlaznog namotaja protufaznog ulaznog transformatora biti što manji. Protufazno B-pojačalo radi osobito povoljno u slučaju ako su upotrebljene izlazne triode s tako malenim prohvatom, da uz napon rešetke nula teče sasvim malena anodna struja mirovanja. U tom slučaju otpada posebni prednapon rešetke, što je kod pojačala s baterijskim pogonom osobita prednost.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može povećati izlazna snaga nekog protufaznog B-pojačala? *Odgovor:* Uzbuđivanjem izlaznih elektronki do u pozitivno područje napona rešetke. — *P.:* Koji je nedostatak s time u vezi? *O.:* Uzbuđivanje izlaznih elektronki ne vrši se više bez utroška energije. — *P.:* Odakle se dobiva energija potrebna za uzbuđivanje izlaznog stupnja? *O.:* Od pretposljednjeg stupnja. — *P.:* Kako se u tom slučaju naziva pretposljednji stupanj? *O.:* Pogonski stupanj. — *P.:* Koje elektronke dolaze u obzir za pogonski stupanj? *O.:* Male jake elektronke. — *P.:* Zašto je potrebno da unutarnji otpor pogonske elektronke bude što manji? *O.:* Zato da uslijed nelinearnog otpora rešetka-katoda izlaznog stupnja ne bi nastala nelinearna izobličenja i da bi promjene u pojačanju pogonskog stupnja bile što manje. — *P.:* Koje uvjete treba osim toga ovdje ispuniti? *O.:* Izlazni namotaj protufaznog ulaznog transformatora mora da ima vrlo malen omski otpor, a prijenosni odnos ovog transfomatora treba da je veći od 1. — *P.:* S kojim još elektronkama radi protufazno B-pojačalo osobito povoljno? *O.:* S izlaznim elektronkama, kod kojih je prohvat tako malen da uz napon rešetke nula teče vrlo mala anodna struja mirovanja. Posebni prednapon rešetke nije u tom slučaju potreban.

Pitanja

73. Koja je prednost protufaznog AB-pojačala?
74. Zašto se kod protufaznog B-pojačala ne može primijeniti dobivanje automatskog prednapona rešetke?
75. Kako se tumači osobita prikladnost protufaznog B-pojačala kod baterijskog pogona?

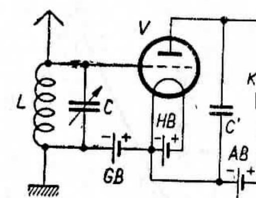
Zadaci

57. Protufazno A-pojačalo daje izlaznu snagu od **10 W**. Svaka od izlaznih elektronki ima dopuštenu snagu gubitka na anodi od **15 W**: a) Kolika je najveća istosmjerna snaga? b) Koja je najveća snaga gubitka na anodi potrebna pojedinoj izlaznoj elektronki uz istu izlaznu snagu u najpovoljnijem slučaju, ako bi elektronke radile u protufaznom B-spoju? c) Kolika je u tom slučaju najveća istosmjerna snaga?
58. U protufaznom B-pojačalu najpovoljniji prilagodni otpor po elektronki iznosi 1,5 kΩ, a otpor zvučnika je 5 Ω: a) Koliki treba da je prijenosni odnos izlaznog transformatora? b) Koliki bi trebao da bude prijenosni odnos ako bi izlazne elektronke radile u protufaznom A-spoju s najpovoljnijim prilagodnim otporom od 6 kΩ po elektronki?

III. Demodulatori

Anodni demodulator

156. — Da se tonska modulacija odijeli od vala nosioca i nakon dovoljnog naponskog pojačanja čuje u zvučniku, potrebno je tonski modulirane visokofrekventne titraje, koje je antena prijemnika primila, ispraviti. Taj se postupak ispravljanja naziva *demodulacijom*, a uređaji pomoću kojih se to vrši nazivaju se *demodulatorima*. U dijelu I, odsjeku 194. do 197. opširno smo opisali pojave do kojih dolazi pri demodulaciji. Kao demodulator tada smo upotrebili kristalni detektor. Sada ćemo opisati *elektronku kao demodulator*, i to elektronku kao *anodni demodulator*, *rešetkin demodulator* i *diodni demodulator*. Svaki proces ispravljanja pretpostavlja, kao što je poznato, radnu karakteristiku sa što oštrijim koljenom (vidi dio I, odsjek 197). Kod *anodnog demodulatora* leži radna tačka u blizini donje početne tačke radne U_g—I_a-karakteristike. Pri tome se iskorištavaju samo pozitivni poluvalovi tonski moduliranih visokofrekventnih titraja, dok se negativni poluvalovi potiskuju. Njegov se osnovni spoj vidi na sl. 118. Ovaj spoj odgovara spoju prijemnika s kristalnim detektorom u dijelu I, sl. 142, samo što je umjesto kristalnog detektora *D* stavljena trioda *V*[31]). Negativni prednapon rešetke uzet iz rešetkine baterije *GB* mora da bude tako velik da radna tačka triode bude otprilike u početnoj tački radne karakteristike. Tonski modulirani visokofrekventni titraji koji nastaju u titrajnom krugu *L*—*C* bit će prema dijelu I. sl. 143. ispravljeni, tako da će se u slušalicama *K* moći čuti tonska modulacija (za objašnjenje usporedi sl. 144 iz dijela I).

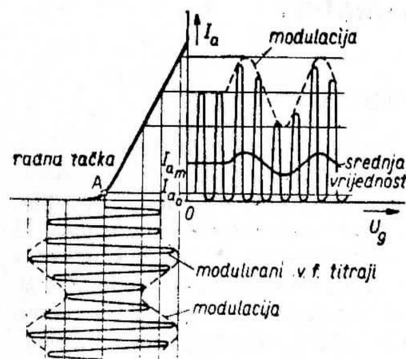


Sl. 118.

157. — Na sl. 119. prikazan je još jednom proces ispravljanja pomoću radne U_a—I_a-karakteristike. Vidimo da se uslijed procesa ispravljanja anodna struja mirovanja I_{a0} penje na vrijednost I_{am}. Demodulacija je to savršenija što je radna karakteristika strmija i što je donje koljeno karakteristike oštrije (vidi dio I, odsjek 197). Svaka radna karakteristika je to položenija, što je opteretni otpor (ovdje anodna impedancija)

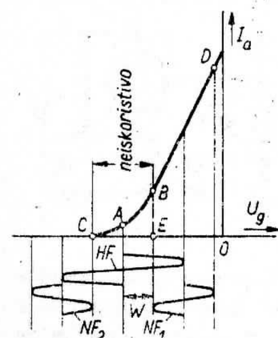
[31]) Može se također upotrebiti pentoda, no od toga nema znatnije koristi.

veći. Budući da mi želimo imati što strmiju radnu karakteristiku, *visokofrekventni otpor* anodnog kruga mora da bude malen. To postizavamo premostivim kondenzatorom C' (vidi sl. 118), koji za visokofrekventne titraje predstavlja vrlo malen otpor. Za visokofrekventne titraje je dakle $\mathfrak{R}_a \approx 0$, tako da trioda s obzirom na *visoku frekvenciju* radi gotovo u *kratkom spoju*. Uslijed toga dinamička karakteristika pada praktički zajedno sa statičkom karakteristikom. Za *niskofrekventne titraje*, kojima su visokofrekventni titraji modulirani, vrijedi druga i to znatno položenija radna karakteristika, koja ovisi o veličini *niskofrekventnog* anodnog otpora (vidi odsjek 40 i 41). Kapacitet kondenzatora C' ne smije biti prevelik, jer bi time bile i visoke tonske frekvencije kratko spojene. Najčešće se odabire C' = = 100 do 300 pF.



Sl. 119.

158. — Da se spriječe nelinearna izobličenja mora donje koljeno karakteristike biti što oštrije, a daljnji dio karakteristike što ravniji. Ovi uvjeti zahtijevaju razmjerno *visok anodni istosmjerni napon* (oko 200 V). Nadalje ne smiju niskofrekventni titraji (modulacija), koji su utisnuti u visokofrekventni val nosilac, dopirati do zakrivljenog područja karakteristike, jer bi u tom slučaju došlo do jakih nelinearnih izobličenja (vidi dio I, odsjek 197 i sl. 145). Iz toga slijedi da *najmanja* amplituda visokofrekventnih titraja *HF* mora da bude jednaka *barem polovici dijela CE negativnog područja napona rešetke*, koje se ne može iskoristiti jer odgovara zakrivljenom području karakteristike *CAB* (sl. 120). Samo u tom slučaju zahvataju niskofrekventni modulacioni titraji NF_1 ravni dio karakteristike *BD*, dok će druga polovica modulacionih titraja NF_2 biti potpuno potisnuta (usporedi također sl. 119). Tako se dobiva demodulacija bez izobličenja. Anodni demodulator prikladan je prema tome za demodulaciju *velikih* visokofrekventnih izmjeničnih napona, dok kod malih izmjeničnih napona daje znatna izobličenja. Visokofrekventni izmjenični naponi ne smiju biti ni preveliki, da anodni ispravljač ne bi bio uzbuđen do pozitivnog napona rešetke (struja rešetke!). Kako je faktor izobličenja anodnog ispravljača malen samo kod osrednjih visokofrekventnih izmjeničnih napona, upotrebljava se jedino nakon prethodnog dovoljno velikog visokofrekventnog pojačanja (na primjer za demodulaciju međufrekventnih titraja u superu). Anodni demodulator



Sl. 120.

ima tu prednost da ne radi samo kao demodulator, nego istodobno i kao pojačalo niskofrekventnih modulacionih titraja. Nedostatak mu je što se teško može primijeniti reakcija, jer radna tačka za ovu svrhu leži nepovoljno (usporedi odsjek 178).

Ponavljanje

Za demodulaciju tonski moduliranih visokofrekventnih titraja upotrebljavaju se demodulatori sa što oštrijim koljenom na radnoj karakteristici. Kod anodnog demodulatora leži radna tačka otprilike u donjoj početnoj tački radne U_g—I_a-karakteristike, pa je prema tome potreban velik negativni prednapon rešetke. Anodni se krug opterećuje kondenzatorom, da anodni ispravljač s obzirom na visokofrekventnu struju radi u kratkom spoju. Time se dobiva strma radna karakteristika, koja se praktički podudara sa statičkom karakteristikom. Proces pojačavanja niskofrekventnih modulacionih titraja vrši se po položenijoj radnoj karakteristici. Anodni demodulator je osobito prikladan za demodulaciju velikih visokofrekventnih napona. Kod malih visokofrekventnih napona dolazi uslijed zakrivljenja donjeg dijela karakteristike do jakih nelinearnih izobličenja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi demodulator? *Odgovor:* Za demodulaciju tonski moduliranih visokofrekventnih titraja, to jest za odjeljivanje tonske modulacije od vala nosioca. — *P.:* Što je karakteristično za svaki demodulator? *O.:* Radna karakteristika ima izrazito koljeno. — *P.:* Što je anodni demodulator? *O.:* Elektronka kao demodulator, kod koje se iskorištava U_g—I_a-karakteristika. — *P.:* Gdje se pri tom nalazi radna tačka? *O.:* U blizini početne tačke radne karakteristike. — *P.:* Koja svojstva mora da ima karakteristika? *O.:* Ona mora iz oštrog koljena izlaziti što strmije i pravocrtno. — *P.:* Kako se to postizava? *O.:* Visokim anodnim istosmjernim naponom i paralelnim kondenzatorom u anodnom krugu. — *P.:* Kako djeluje taj kondenzator? *O.:* On djeluje tako da s obzirom na visoku frekvenciju anodni demodulator radi gotovo u kratkom spoju. — *P.:* Kakvo ograničenje postoji kod anodnog demodulatora s obzirom na veličinu tonski moduliranih visokofrekventnih titraja? *O.:* Visokofrekventni napon mora da bude jednak bar polovici negativnog područja napona rešetke, koje se ne može iskoristiti uslijed donjeg zakrivljenja karakteristike, jer bi inače došlo do nelinearnog izobličenja. — *P.:* Koje praktičko značenje ima ova činjenica? *O.:* Anodni demodulator prikladan je samo za demodulaciju ne premalenih tonski moduliranih visokofrekventnih titraja. — *P.:* Radi li anodni demodulator samo kao ispravljač? *O.:* Ne, on također pojačava niskofrekventne modulacione titraje. — *P.:* O čemu je ovisno ovo pojačavanje? *O.:* Kao i kod svakog naponskog pojačavanja o veličini otpora za niskofrekventnu izmjeničnu struju u anodnom krugu.

Demodulacija rešetkom

159. — Za demodulaciju može se iskoristiti također *struja rešetke*, jer U_g—I_g-karakteristika ima također koljeno (usporedi dio I, sl. 193). Tako dobivamo demodulator koji se naziva *audion*.[32]) Osnovni spoj

[32]) Audio (latinski = čujem). Audionski spoj prvi je upotrebio Amerikanac *de Forest* vec g. 1906.

audiona vidimo na sl. 121. Titrajni krug L—C nije kao na sl. 118. priključen direktno, nego preko *kondenzatora* C_g na rešetku triode V. Kako ovaj kondenzator odjeljuje rešetku, elektroni će se, koje isijava žarna nit, skupljati na rešetki, dakle nabijat će negativno rešetku i kondenzator. Na koncu će anodna struja biti sasvim potisnuta. Visokoomski *odvodni otpor rešetke* R_g (obično 0,5 do 2 MΩ) sprečava preveliko nagomilavanje elektrona na rešetki i rešetkinom kondenzatoru. Dio elektrona preko otpora R_g odlazi natrag k žarnoj niti, te se automatsko nabijanje rešetke u odgovarajućoj mjeri umanjuje. Tako dolazi do stanja ravnoteže. U svakom trenutku isto toliko elektrona preko otpora R_g otiđe, koliko sa žarne niti kroz samu elektronku pridođe na rešetku. Preko otpora R_g teče dakle *struja rešetke* I_g (vidi sl. 121). Iznosi li na primjer napon žarenja elektronke 2 V, imat će rešetka kod $R_g = 0$ i uz priključak na pozitivni kraj žarne niti prednapon od +2 V (kao uvijek mjeren prema negativnom kraju žarne niti). Ako je $R_g = 1$ MΩ, bit će uz struju rešetke $I_g = 0{,}0015$ mA $= 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ A, na otporu R_g pad istosmjernog napona $I_g \cdot R_g = 1{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{6} = 1{,}5$ V. Zbog smjera struje I_g ima kraj otpora R_g, koji je spojen na rešetku, za ovaj iznos napona negativniju vrijednost, tako da prednapon rešetke sada iznosi još samo (2—1,5) = +0,5 V. Ovaj prednapon rešetke U_{g_0} je napon ravnoteže na koji se elektronka automaski ponovno postavlja. Da bi se ova vrlo slaba struja rešetke mogla podržavati, mora se kod baterijskih elektronki odvodni otpor rešetke spojiti s pozitivnim krajem žarne niti (usporedi dio I, odsjek 263).

Sl. 121.

160. — Ako na rešetku preko kondenzatora C_g, koji za visokofrekventne titraje praktički predstavlja kratki spoj, dolazi sinusoidni izmjenični napon $\mathfrak{u}_g$, odigrati će se slijedeći procesi: *pozitivni* poluval *1* izmjeničnog napona rešetke $\mathfrak{u}_g$ (sl. 122 dolje) djeluje na porast struje mirovanja rešetke I_{g_0} (sl. 122 u sredini). Srednja crtkano izvučena istosmjerna struja rešetke proizvodi na odvodnom otporu R_g pad istosmjernog napona tako da prednapon rešetke prema odsjeku 159. postaje sve negativniji (usporedi na sl. 122 dolje crtkano izvučenu krivulju za srednji prednapon rešetke). Uslijed toga se smanjuje prvotna vrijednost anodne struje mirovanja I_{a_0} (usporedi na sl. 122 gore crtkano izvučenu krivulju srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje). Ove se pojave ne zbivaju odjedanput nego postepeno, tako da anodna struja može slijediti momentane vrijednosti prvog poluvala napona rešetke, jer kondenzator C_g i *visokoomski* otpor R_g sprečavaju prebrzo odlaženje elektrona s rešetke. Za vrijeme *negativnog* poluvala *2* izmjeničnog napona na rešetki ne teče nikakva struja rešetke. Anodna struja izvodi za to vrijeme bez zapreke svoj drugi također negativni poluval. Kondenzator rešetke može se doduše preko odvodnog otpora donekle

isprazniti, no to ne čini mnogo, jer je odvodni otpor vrlo velik. Nakon toga slijedi *pozitivni* poluval *3* izmjeničnog napona na rešetki. Na kraju toga poluvala nastupit će uslijed struje rešetke i opet, doduše ne tako jako, smanjenje prednapona rešetke i srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje. *Negativni* poluval *4* ne može proizvesti nikakvu struju rešetke. Nakon ovog poluvala dogodit će se slijedeće: prvotni pozitivni prednapon rešetke U_{g_0} snizio se na negativnu vrijednost U_{gm}. Isto je tako veličina anodne struje I_{a_0} pala na vrijednost I_{am}[33]), a radna tačka A_1 pomakla se po U_g—I_g-karakteristici prema A_2. Od sada će U_{gm} i I_{am} ostati jednako veliki, u slučaju da i izmjenični napon rešetke ostaje također jednako velik. Prednapon rešetke ne može u ovom slučaju postajati još negativniji, jer je već u odsjeku 159. opisano stanje ravnoteže uspostavljeno. Ako izmjenični napon $\mathfrak{u}_g$ postaje sve veći (vidi sl. 122), onda će zbog još veće struje rešetke radi većeg pada istosmjernog napona na odvodnom otporu nastati još negativniji prednapon rešetke. Uslijed toga će također opadati srednja vrijednost anodne istosmjerne struje, te će se radna tačka A_2 pomaknuti prema A_3. Ako sada izmjenični napon rešetke nestane, oteći će naboj rešetke preko odvodnog otpora prema žarnoj niti. Uslijed toga će se prednapon rešetke popeti na prvotnu vrijednost U_{g_0}, a anodna struja na prvotnu vrijednost I_{a_0} (vidi sl. 122).

Sl. 122.

161. — Iz odsjeka 160. slijedi nadalje da se naboj rešetke i rešetkinog kondenzatora mijenja u istom taktu kao tjemene vrijednosti izmjeničnog napona rešetke. Iz toga slijedi da *tonski modulirani* izmjenični napon rešetke stvara također tonski modulirani prednapon rešetke. Srednja anodna istosmjerna struja sadržava prema tome istu tonsku modulaciju koja se može čuti u slušalici, odnosno dalje pojačati[34]). *Anodna struja*

[33]) Nasuprot ovome dolazi kod anodnog ispravljača do porasta anodne struje mirovanja (vidi odsjek 157).

[34]) Visokofrekventni izmjenični dio anodne struje bit će preko kapaciteta namotaja slušalice najčešće u dovoljnoj mjeri kratko spojen. Inače se može, kao i kod anodnog ispravljača na sl. 118 paralelno slušalici spojiti kondenzator C.

elektronke u kojoj se vrši demodulacija rešetkom slijedi promjene prednapona rešetke. Ove promjene napona nastaju, kako je već rečeno, zbog pada istosmjernog napona na odvodnom otporu. Nasuprot ovome ostao je kod svih dosada opisanih spojeva prednapon rešetke uvijek nepromijenjen. Niskofrekventne promjene anodne struje, dakle tonska modulacija, bit će na U_g—I_a-karakteristici) isto tako pojačana kao i u svakom niskofrekventnom pojačalu. Iz ovoga konačno slijedi *da audion djeluje kao diodni ispravljač (rešetka-katoda) u vezi s jednim niskofrekventnim pojačalom.*

Ponavljanje

Kod audiona se za demoduliranje iskorištava struja rešetke, dakle U_g—I_g-karakteristika. Naročite karakteristike audiona su rešetkin kondenzator i odvodni otpor. Pozitivni poluvalovi izmjeničnog napona rešetke proizvode negativni naboj rešetke i pomicanje prednapona rešetke u negativnu stranu uslijed struje rešetke. Zbog toga dolazi do odgovarajućeg pomaka radne tačke na U_g—I_a-karakteristici i smanjenja srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje. Ako je izmjenični napon rešetke tonski moduliran, mijenjat će se prednapon rešetke u taktu tonske modulacije, a isto tako i anodna istosmjerna struja. Budući da istodobno dolazi i do pojačanja izmjeničnog napona rešetke, djeluje audion kao kombinacija diodnog ispravljača i niskofrekventnog pojačala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je to ispravljač s rešetkom ili audion? *Odgovor:* To je demodulator koji iskorištava U_g—I_g-karakteristiku. — *P.:* Koje su osobite značajke audiona? *O.:* U rešetkinom krugu nalazi se kondenzator i odvodni otpor. — *P.:* Zašto je potreban odvodni otpor? *O.:* Zato da se ne bi rešetka, koja je odvojena kondenzatorom, toliko negativno nabila da anodna struja ne bi uopće tekla. — *P.:* Na čemu se u načelu temelji kod audiona ispravljanje nemoduliranih izmjeničnih napona? *O.:* Pozitivni poluvalovi izmjeničnog napona rešetke uzrokuju padom istosmjernog napona uslijed struje rešetke na rešetkinom odvodnom otporu prednapon rešetke, koji postaje sve negativniji. Uslijed toga dolazi do odgovarajućeg sniženja srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje. — *P.:* Što se događa prilikom ispravljanja moduliranih izmjeničnih napona pomoću audiona? *O.:* Srednja vrijednost prednapona rešetke, a pri tome i srednja vrijednost anodne istosmjerne struje, mijenjaju se u taktu modulacije. — *P.:* Što je pri tome osobito značajno? *O.:* Da prednapon rešetke ne ostaje kao inače jednako velik, nego se mijenja u taktu modulacije. — *P.:* Kako možemo predočiti djelovanje audiona? *O.:* Kao djelovanje kombinacije diodnog ispravljača (rešetka-katoda) i niskofrekventnog pojačala.

Pitanja

76. Radi li anodni ispravljač pod istim uvjetima s obzirom na visoku i na nisku frekvenciju?

77. Zašto anodni ispravljač nije prikladan za demoduliranje malih izmjeničnih napona na rešetki?

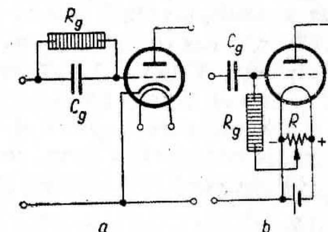
78. U čemu se anodni demodulator razlikuje od audiona s obzirom na promjenu srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje?

Zadaci

59. Anodni demodulator radi s negativnim prednaponom rešetke od 12 V. Dio U_g—I_a-karakteristike, koji se ne može iskoristiti, leži između negativnih napona rešetke 10 V i 14 V. Koji maksimalni stupanj modulacije smije imati tonski modulirani izmjenični napon rešetke, ako je potrebno da se demodulacija vrši bez izobličenja, a tačka u kojoj se javlja struja rešetke da leži kod —1 V?

60. Nacrtaj spoj baterijskog prijemnika s audionom i s induktivno vezanom prijemnom antenom, te s priključkom slušalice preko transformatora.

162. — Što je oštrije koljeno karakteristike rešetkine struje, to je veći stupanj iskoristivosti audiona, te će tim manji izmjenični naponi biti demodulirani bez izobličenja. U_g—I_a-karakteristika penje se to strmije, što je niži anodni istosmjerni napon (manji utjecaj na struju elektrona!). Mali anodni istosmjerni naponi imaju tu manu da radna U_g—I_a-karakteristika prolazi prilično položeno. Pokazalo se svrsishodnim da se za anodni istosmjerni napon triode, koja radi kao audion, odabere 40 do 80 V. Prohvat treba da iznosi 3 do 6%, a strmina 2 do 3 mA/V (na primjer AC 2 za pogon iz mreže i RE 084, odnosno A 408, za baterijski pogon). *Odvodni otpor rešetke* R_g, odnosno opteretni otpor kruga rešetka-katoda, mora da bude prilično velik prema otporu ispravljača rešetka-katoda da bi se postiglo što oštrije koljeno U_g—I_g-karakteristike (položena karakteristika rešetkine struje!), no ipak ne toliko velik da niskofrekventni titraji budu suviše prigušeni. Premalen odvodni otpor rešetke smanjuje promjene napona na rešetki, dakle i jakost prijema, dok prevelik odvodni otpor otežava otjecanje naboja s rešetke i tako prigušuje visoke tonske frekvencije. Osim toga kod prevelikog odvodnog otpora lako dolazi do smetnja u obliku brujanja iz mreže, što se svodi na djelovanje vodova za žarenje, susjednih vodova izmjenične struje itd. na taj otpor. Ova opasnost kod anodnog demodulatora ne postoji, jer je rešetka zavojnicom za ugađanje L za niskofrekventne napone brujanja praktički kratko spojena (usporedi sl. 118). Veličina odvodnog otpora kreće se dakle, kao što je već u odsjeku 159. spomenuto, između 0,5 MΩ i 2 MΩ. Odvodni otpor R_g može se također spojiti *paralelno* rešetkinom kondenzatoru C_g (sl.123-a). Ovaj spoj ima konstruktivne prednosti, te se najčešće upotrebljava kod audiona s priključkom na električku mrežu. Kod osobito osjetljivih audiona (na primjer u kratkovalnim prijemnicima) preporučuje se da se najpovoljniji prednapon rešetke ugodi *promjenljivim* priključkom odvodnog otpora na krug žarenja. To se radi tako da se donji kraj odvodnog otpora R_g priključi na klizač potenciometra R od 1 000 Ω koji je spojen paralelno žarnoj niti (sl. 123-b).

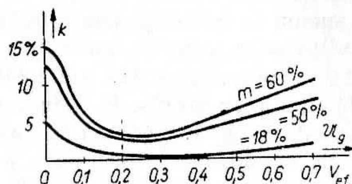


Sl. 123.

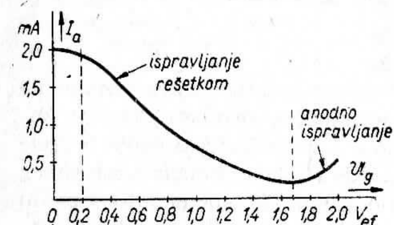
163. — *Rešetkin kondenzator* C_g treba tako odabrati da njegov otpor za visoku frekvenciju bude neznatan, a za nisku frekvenciju da pred-

stavlja velik otpor, jer bi se inače tonske frekvencije preko kondenzatora rešetke C_g i zavojnice za ugađanje L kratko spojile, te na odvodnom otporu R_g ne bi mogli uopće nastati niskofrekventni naponi (vidi sl. 121). Kapacitet kondenzatora iznosi prosječno 100 do 300 pF. Što je veći C_g, to će jače biti prigušene visoke tonske frekvencije, a uz premalen C_g bit će suviše malen visokofrekventni napon na rešetki, što dovodi do slabog stupnja iskoristivosti audiona[35]). Veličina C_g ovisi istodobno i o veličini R_g. S vrijednostima $C_g = 100$ do 200 pF i $R_g = 0,5$ do 1 MΩ može se postići dobar stupanj iskoristivosti, a da još i reprodukcija visokih tonova bude dobra.

164. — Dok anodni demodulator prema odsjeku 158. velike visokofrekventne napone ispravlja razmjerno bez izobličenja, a kod malenih izmjeničnih napona faktor izobličenja je velik, dotle se kod audiona događa obrnuto. Kako pokazuju mjerenja, faktor izobličenja k audiona najmanji je kod visokofrekventnog napona $U_g \approx 0,2\ V_{ef}$ (sl. 124). Kod prijema mora se prema tome paziti da audion radi otprilike s ovim izmjeničnim naponom (na primjer kod prijema lokalne stanice treba primijeniti promjenljivu antensku vezu). Kod manjih visokofrekventnih napona se faktor izobličenja naglo povećava uslijed zakrivljenosti koljena U_g—I_g-karakteristike. Isto se događa i kod prevelikih visokofrekventnih napona, jer se u tom slučaju može dogoditi da se radna tačka pomakne tako daleko u područje negativnih napona rešetke da audion radi istodobno i kao anodni demodulator (usporedi sl. 122)! Oba ova načina ispravljanja djeluju suprotno, jer se pri ispravljanju rešetkom srednja vrijednost anodne istosmjerne struje I_a smanjuje (vidi odsjek 160), dok se pri anodnom ispravljanju ona povećava (vidi odsjek 157). Na sl. 125. prikazan je dijagram za ovu pojavu. Kod velikih visokofrekventnih napona prevladava anodno ispravljanje, a kod malenih visokofrekventnih napona ispravljanje rešetkom. Nadalje iz primjera na sl. 124. vidimo da faktor izobličenja k audiona ovisi i o postotku modulacije m. Što je veći postotak modulacije, to dublje zadiru tjemene vrijednosti izmjeničnih napona na rešetki u zakrivljeni dio U_g—I_a-karakteristike. Time se tumači velik porast faktora izobličenja u desnom dijelu sl. 124.



Sl. 124.



Sl. 125.

[35]) Kod vrlo visokih frekvencija (kratki i ultrakratki valovi) može biti $C_g = 50$ do 100 pF.

165. — Ispravljanje rešetkom ima prema anodnom ispravljanju tu osobitu prednost, da se visokofrekventni naponi koji su još preostali u anodnom krugu mogu lako iskoristiti za *reakciju*, jer kod ispravljanja rešetkom leži radna tačka za ovu svrhu mnogo povoljnije nego kod ispravljanja anodom (vidi odsjek 158). To je razlog da audion s reakcijom ima osobito značenje kod jednostavnih prijemnika. Osjetljivost audiona može se znatno povećati upotrebom *pentode* (na primjer AF 7), samo se pri tome mora paziti da prednaponi rešetke i naponi zaštitne rešetke imaju pravu vrijednost. O reakciji i o audionu s pentodom govorit ćemo opširnije u odsjeku 189.

Ponavljanje

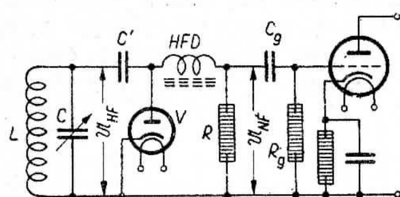
Audion radi s razmjerno niskim anodnim istosmjernim naponom (40 do 80 V), kako bi koljeno karakteristike rešetkine struje bilo što izrazitije. Što je veći odvodni otpor R_g, to je veća jakost prijema, ali također i zapostavljanje visokih tonova i osjetljivost na brujanje iz mreže. Najpovoljnija veličina za $R_g = 0,5$ do 2 MΩ. Kondenzator C_g mora imati za visokofrekventne titraje malen otpor, a za niskofrekventne titraje velik otpor. Prevelik rešetkin kondenzator prigušuje visoke tonove. Obično se uzima $C_g = 100$ do 300 pF. Faktor izobličenja audiona najmanji je kod visokofrekventnih napona 0,2 V_{ef} i kod manjeg stupnja modulacije. Kod visokofrekventnih napona većih i manjih od 0,2 V_{ef} faktor izobličenja raste. Kod prevelikih visokofrekventnih napona djeluje audion istodobno kao anodni ispravljač. Stupanj iskoristivosti audiona može se znatno povisiti primjenom reakcije i upotrebom pentode.

Pitanja i odgovori

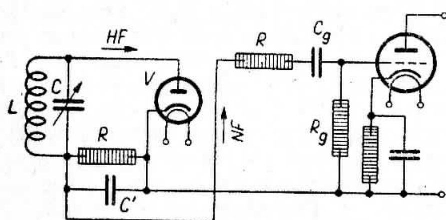
Pitanje: Koliki treba da je anodni istosmjerni napon audiona? *Odgovor:* Anodni istosmjerni napon treba da je što niži (40 do 80 V), da bi karakteristika rešetkine struje imala što oštrije koljeno. — *P.:* Kakav utjecaj na rad audiona ima malen odvodni otpor rešetke? *O.:* Visoki tonovi bit će dobro reproducirani i smetnje brujanja iz mreže bit će svedene na najmanju mjeru, no jakost prijema će biti slabija nego uz velik odvodni otpor. — *P.:* Koje uvjete mora ispuniti rešetkin kondenzator? *O.:* On mora visokofrekventne titraje propuštati po mogućnosti bez zapreka, a za niskofrekventne titraje mora predstavljati velik otpor. — *P.:* Koje se veličine preporučuju za odvodni otpor rešetke R_g i rešetkin kondenzator C_g. *O.:* $R_g = 0,5$ do 1 MΩ, $C_g = 100$ do 200 pF. — *P.:* Kada je faktor izobličenja audiona najmanji? *O.:* Kod malenog stupnja modulacije i kod visokofrekventnog napona od 0,2 V_{ef}. — *P.:* Kako se mijenja faktor izobličenja s promjenom visokofrekventnog napona? *O.:* S porastom i padom visokofrekventnog napona oko ove najpovoljnije veličine faktor izobličenja raste. — *P.:* Zbog čega nastaje jako izobličenje kod velikih visokofrekventnih napona? *O.:* Audion radi u tom slučaju istodobno i kao anodni ispravljač. — *P.:* Kako se može povisiti stupanj iskoristivosti audiona? *O.:* Primjenom reakcije i upotrebom pentode.

Diodni demodulator

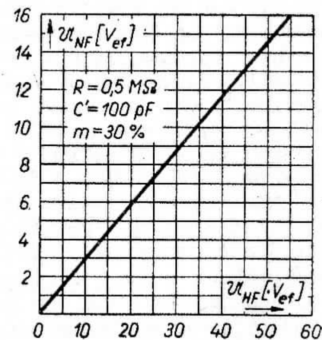
166. — *Diodni demodulator* je treća vrsta ispravljača pomoću elektronke[36]). Za ovu svrhu se upotrebljavaju *diode* spomenute već u dijelu I, odsjek 214, dakle elektronke koje imaju samo jednu anodu i jednu katodu. Dioda u načelu radi isto kao ispravljačica za jednotaktno ispravljanje izmjeničnog napona mreže (vidi odsjek 13). Na sl. 126. vidimo spoj demodulatora s diodom i s dodanim stupnjem niskofrekventnog pojačala. Titrajni krug *L—C*, dioda *V* i opteretni otpor *R* spojeni su *paralelno*. Visokofrekventni napon $\mathfrak{U}_{HF}$ na krajevima titrajnog kruga *L—C* preko nabojnog kondenzatora *C'* djeluje na diodu *V*. Nabojni kondenzator *C'* mora da bude tako velik da za niskofrekventne titraje predstavlja velik, a za visokofrekventne titraje malen otpor ($C' \approx$ ≈ 100 pF). Kroz diodu prolaze samo pozitivni poluvalovi visokofrekventne struje, zbog čega na opteretnom otporu *R* dolazi do pada napona. Ovdje nailazimo na istu pojavu koju smo već opširno proučili u odsjeku 14. i sl. 10. Ako je visokofrekventni napon $\mathfrak{U}_{HF}$ tonski moduliran, dobivamo na otporu *R* niskofrekventni modulacioni napon $\mathfrak{U}_{NF}$ (usporedi dio I, odsjek 144), koji se preko rešetkinog kondenzatora C_g i odvodnog otpora R_g dovodi krugu rešetke ulazne elektronke niskofrekventnog pojačala. Visokofrekventna prigušnica *HFD* (s visokofrekventnim željezom) sprečava prodiranje visokofrekventnih titraja u niskofrekventno pojačalo. Diodni demodulator se može spojiti također prema sl. 127. Ovdje su titrajni krug *L—C*, dioda *V* i otpor *R* spojeni u *seriju*, dok je kondenzator *C'* opteretnom otporu *R* spojen paralelno, pa visokofrekventnim titrajima pruža lak prolaz. Djelovanje ovog spoja je isto kao i paralelnog spoja na sl. 126. Visokoomski otpor $R' \approx 0{,}1$ MΩ služi kao zapor da visokofrekventni titraji ne prodiru u niskofrekventno pojačalo.



Sl. 126.



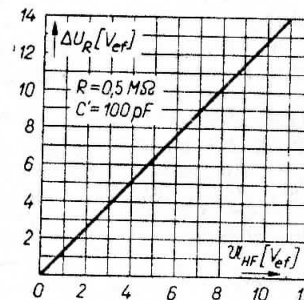
Sl. 127.



Sl. 128.

[36]) Već god. 1900. je Amerićanin *Fleming* predložio da se umjesto kristalnog detektora za ispravljanje izmjeničnih napona upotrebi dioda.

167. — Na sl. 128. prikazano je kako efektivni niskofrekventni naponi $\mathfrak{U}_{NF}$ nastali na opteretnom otporu *R* ovise o visokofrekventnom naponu $\mathfrak{U}_{HF}$ na titrajnom krugu *L—C*. Mjerenjima dobivena krivulja praktički vrijedi za s v e indirektno žarene diode (npr. AB 2) i za otpor $R = 0{,}5$ MΩ, nabojni kondenzator $C' = 100$ pF i postotak modulacije $m = 30\%$. Tako dobivamo na primjer za visokofrekventni napon $\mathfrak{U}_{HF} = 45\ V_{ef}$ niskofrekventni napon $\mathfrak{U}_{NF} = 13\ V_{ef}$. Uz stupanj modulacije $m = 60\%$ bit će $\mathfrak{U}_{NF} = 2 \cdot 13 = 26\ V_{ef}$. Uz $m = 10\%$ bit će $\mathfrak{U}_{NF} = (1/3) \cdot 13 =$ $= 4{,}3\ V_{ef}$. Obratno se može pomoću sl. 128. izračunati visokofrekventni napon, koji je potreban da se dobije stanoviti niskofrekventni napon. Budući da je karakteristika tek povrh $\mathfrak{U}_{HF} \approx 0{,}3\ V_{ef}$ ravna[37]), doći će kod nižih izmjeničnih napona do znatnog nelinearnog izobličenja. Vidimo da visokofrekventni napon koji je potrebno ispraviti *ne smije kod diodnog ispravljanja pasti ispod neke donje vrijednosti, isto dakle kao i kod anodnog ispravljanja i ispravljanja rešetkom* (vidi odsjeke 158 i 164). Ako je $\mathfrak{U}_{HF} \geq 10\ V_{ef}$, tada dioda predstavlja skoro savršen demodulator. Diodni ispravljač dolazi prema tome u obzir uglavnom kod većih prijemnika (na primjer kod supera), koji raspolažu s dovoljno velikim visokofrekventnim pojačanjem. Maksimalni visokofrekventni napon između anode i katode ograničen je zbog izolacije i opasnosti preopterećenja otprilike na 100 V (kod 100% modulacije). Sl. 129. prikazuje, kako ovisi prirast istosmjernog napona ΔU_R na opteretnom otporu $R = 0{,}5$ MΩ o visokofrekventnom naponu na titrajnom krugu *L—C* Ova je karakteristika vrlo važna za određivanje visokofrekventnog napona, koji je potreban za proizvođenje »napona regulacije« u prijemniku s automatskom regulacijom fedinga. Kasnije ćemo se na ovo još osvrnuti.



Sl. 129.

Ponavljanje

D i o d n i d e m o d u l a t o r je ispravljač koji radi s diodom. Paralelno ili u seriju s diodom spojen je opteretni otpor, na kome nakon ispravljanja nastaju niskofrekventni modulacioni naponi. Diodni demodulator radi bez izobličenja tek kod visokofrekventnih napona većih od 0,3 V_{ef}. Ako je visokofrekventni napon veći od 10 V_{ef}, predstavlja dioda najsavršeniji demodulator. Primjena diodnog demodulatora ograničena je na prijemnike koji maju veliko visokofrekventno pojačanje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje smo demodulatore dosada upoznali? *Odgovor:* Kristalni detektor, zatim anodni demodulator, audion i diodni demodulator. —

[37]) To se na sl. 128. zbog malog mjerila ne vidi.

P.: Kako radi diodni demodulator? *O.*: Radi s diodom koja po načinu rada odgovara jednotaktnom ispravljaču za ispravljanje izmjeničnog napona mreže. — *P.*: Kako se dobiva tonska modulacija kod diodnog demodulatora? *O.*: Kao pad niskofrekventnog napona na opteretnom otporu, koji je spojen paralelno ili u seriju s diodom. — *P.*: Nacrtaj spoj diodnog demodulatora u paralelnom i u serijskom spoju! *O.*: Odgovor je nacrtan na lijevoj polovici sl. 126. i 127. — *P.*: Kako se može odrediti niskofrekventni napon što ga daje ispravljač s diodom kod nekog određenog tonski moduliranog visokofrekventnog napona? *O.*: Iz $\mathfrak{U}_{HF}$ — $\mathfrak{U}_{NF}$-karakteristike diodnog ispravljača (vidi sl. 128). — *P.*: Kada diodni demodulator radi praktički bez izobličenja? *O.*: Ako je visokofrekventni napon veći od 10 V_{ef}. — *P.*: Što iz toga slijedi? *O.*: Diodni demodulator prikladan je samo za veće prijemnike, koji imaju dovoljno veliko visokofrekventno pojačanje.

Pitanja

79. Koja je prednost ispravljača rešetkom prema anodnom ispravljaču?

80. Koja je prednost diodnog ispravljača prema anodnom ispravljaču?

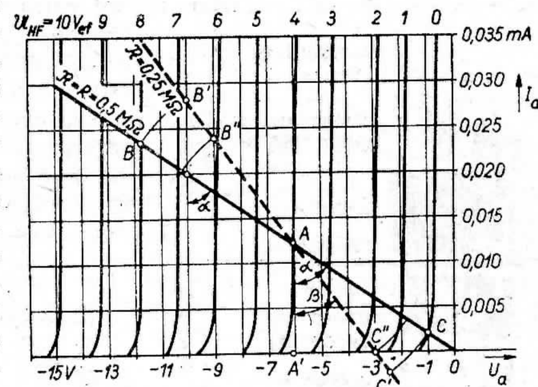
Zadaci

61. Diodni ispravljač radi u uobičajenom spoju s triodom koja ima faktor pojačanja 25. Visokofrekventni napon na diodi iznosi 10 V_{ef} sa stupnjem modulacije 40%: a) Koji uzbudni napon dobiva trioda? b) Koji anodni izmjenični napon daje trioda? c) Koliko je pojačanje spoja?

62. Izlazni stupanj nekog prijemnika radi s pentodom koja za puno uzbuđenje treba izmjenični napon na rešetki od 5 V_{ef}: a) Koliki treba da je visokofrekventni napon na diodnom ispravljaču uz stupanj modulacije $m = 30\%$? b) Koliki je visokofrekventni napon u slučaju da izlazni stupanj radi samo s polovicom izlazne snage?

168. — Titrajni krug *L—C* nekog diodnog ispravljača (vidi sl. 126 i 127) *prigušen* je paralelnim otporom *R* i unutarnjim otporom dioda *V*. Kao približan podatak navodimo da je ukupni prigušni otpor kod *paralelnog spoja* (vidi sl. 126) jednak jednoj *trećini* opteretnog otpora *R*, a kod *serijskog spoja* (vidi sl. 127) *polovici* otpora *R*. Ovi podaci vrijede samo za $\mathfrak{U}_{HF} \geqq 0{,}3$ V_{ef}, dok je prigušenje kod još manjih visokofrekventnih napona znatno veće. Kako s obzirom na selektivnost prigušenje titrajnih krugova mora biti što manje (vidi dio I, odsjek 205) upotrebljava se češće s e r i j s k i spoj diodnog ispravljača. Otpor *R* predstavlja opteretni otpor za *istosmjernu struju*, ali ne i opteretni otpor za *izmjeničnu struju* kojim je određena veličina niskofrekventnih izmjeničnih napona. Paralelno otporu *R* spojen je odvodni otpor rešetke R_g slijedećeg stupnja pojačala. Radni otpor za izmjeničnu struju bit će uz zanemarenje kapacitivnog otpora rešetkinog kondenzatora $\mathfrak{R} = R \cdot R_g/(R + R_g)$, dakle m a n j i nego otpor za istosmjernu struju *R*. Iz sl. 130. vidimo, kako se ta činjenica očituje u načinu rada diodnog ispravljača. Tamo su prikazane U_a—I_a-karakteristike, koje daju ovisnost istosmjernog napona U_a proizvedenog na opteretnom otporu diodnog ispravljača o anodnoj struji I_a koja teče kroz diodu kod različitih visokofrekventnih napona $\mathfrak{U}_{HF}$. Ako je otpor $R = 0{,}5$ MΩ, dobivamo puno izvu-

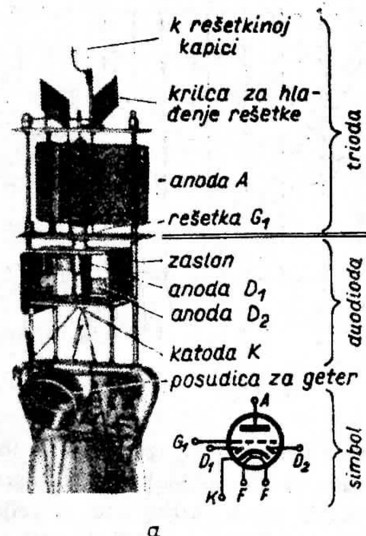
čenu radnu karakteristiku, jer je njezin nagib $tg\,\alpha = R = 10$ V/0,020 mA = 500 kΩ = 0,5 MΩ. Ako je tonski modulirani visokofrekventni napon $\mathfrak{U}_{HF} = 4$ V_{ef} i ako je $\mathfrak{R} = R$, dobivamo radnu tačku *A*. Uz stupanj modulacije $m = 100\%$ titraju vrhovi modulacije od radne tačke *A* do tačaka *B* i *C* bez zapreka. No ako je $R = 0{,}33$ MΩ i $R_g = 1$ MΩ, bit će $\mathfrak{R} = 0{,}33 \cdot 1/(0{,}33 + 1) = 0{,}25$ MΩ, to jest radna će se karakteristika zakrenuti oko radne tačke *A* u crtkano značeni položaj. Tonska modulacija smije ovdje ići do tačke *B'*, ali ne više do tačke *C'*. Donji vrhovi modulacije bit će kod tačke *C''* odrezani, stupanj modulacije ne smije više zbog izobličenja da bude veći od 100%. Na sl. 130. može se još samo iskoristiti dio karakteristike *B''C''*. Budući da dužina *AC''* odgovara maksimalno dopuštenom stupnju modulacije *m*, a dužina *AC* stupnju modulacije od 100%, dobivamo: $m/100\% = AC''/AC \approx AC''/AO$, dakle: $m \approx [AA' \cdot tg\,\beta/(AA' \cdot tg\,\alpha)] \cdot 100\% = (tg\,\beta/tg\,\alpha) \cdot 100\%$. Mora dakle biti ispunjen ovaj uvjet: $m \leqq (\mathfrak{R}/R) \cdot 100\%$. Iz toga slijedi da radni otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}$ treba da bude otprilike jednak opteretnom otporu *R*. Budući da se odvodni otpor rešetke ne može po volji povećati (vidi odsjek 82), mora *R* da bude malen prema R_g. No time se povisuje i prigušenje titrajnog kruga *L—C*. Ako je na primjer $R = 0{,}5$ MΩ, i $R_g = 1$ MΩ bit će $\mathfrak{R} = 0{,}5 \cdot 1/(0{,}5 + 1) = 0{,}33$ MΩ. Kao najveći dopušteni stupanj modulacije dobivamo: $m \leqq (0{,}33/0{,}5) \cdot 100\% = 66\%$.

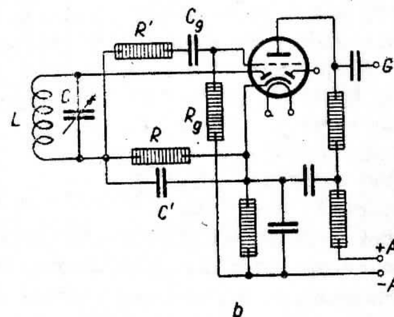


Sl. 130.

169. — Diodni demodulator je u v e ć i m prijemnicima gotovo potpuno potisnuo audion i anodni demodulator, jer se s diodnim demodulatorom može *bez ikakvog pomoćnog napona* ispraviti *bez izobličenja* i najveći visokofrekventni napon koji praktički dolazi u obzir (vidi odsjek 167). Kod m a n j i h prijemnika n e d o l a z i diodni demodulator u obzir, jer ne pojačava i isključuje primjenu reakcije. Tome pridolazi još i prigušno djelovanje na titrajni krug (vidi odsjek 168). U praksi se ne upotrebljavaju elektronke sa jednom diodom nego sa dvije diode (*duodiode*, na primjer AB 1, AB 2 itd.; usporedi dio I, odsjek 188), koje imaju u zajedničkom staklenom balonu d v i j e **odijeljene** anode sa zajedničkom katodom, (sl. 131-a, donji dio). Jedna se ispravljačka staza D_1—*K* upotrebljava na opisani način za demodulaciju, a druga

ispravljačka *staza* D_2—K za proizvođenje »regulacionog napona« u prijemnicima s regulacijom fedinga. Ima također kombiniranih elektronki, na primjer *duodioda-trioda*. Ove imaju u zajedničkom staklenom balonu sa zajedničkom katodom K (sl. 131-a) dvije odijeljene ispravljačke staze D_1—K i D_2—K i istodobno triodni sistem A—G_1—K. Takve kombinirane elektronke (na primjer ABC 1, REN 924, odnosno AN 4029; usporedi dio I, odsjek 259) odgovaraju potpuno duodiodi (AB 2) i odijeljenoj triodi AC 2. Pri tome se uštеđuje žarenje jedne elektronke i uz demodulaciju dobiva i pojačavanje u istoj elektronki. Na sl. 131-b





Sl. 131.

prikazan je jednostavan spoj s kombiniranom elektronkom. Spoj djeluje isto onako kao i spoj od dva dijela na sl. 127. (usporedi odsjek 166). Trioda je spojena kao otporno pojačalo, tako da se na stezaljke G i —A može priključiti izlazno pojačalo. Druga ispravljačka staza ostala je na sl. 131.-b neiskorišćena, dok se u većim prijemnicima ona upotrebljava za utomatsku regulaciju fedinga.

Ponavljanje

Titrajni krug na koji je priključena dioda p r i g u š e n je opteretnim otporom. U paralelnom spoju diode iznosi prigušni otpor otprilike jednu trećinu, a u serijskom spoju otprilike jednu polovinu opteretnog otpora, u slučaju da je visokofrekventni napon veći od 0,3 V_{ef}. Od paralelnog spoja opteretnog otpora R diode i odvodnog otpora rešetke R_g slijedećeg stupnja dobije se otpor za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}$, koji ograničuje maksimalni stupanj modulacije m s obzirom na demodulaciju bez izobličenja. Mora biti ispunjen uvjet da je $m \leq (\mathfrak{R}/R) \cdot 100\%$. U većim prijemnicima upotrebljava se za demodulaciju isključivo dioda. Pri tome dolaze najčešće u primjenu d u o d i o d e koje imaju u zajedničkom staklenom balonu zajedničku katodu sa dvije odvojene ispravljačke staze, od kojih jedna služi za demodulaciju, a druga za proizvođenje »regulacionog napona« za automatsku regulaciju fedinga. Postoje također kombinirane elektronke, na primjer d u o d i o d e - t r i o d e, koje su sastavljene istodobno od triode i duodiode sa zajedničkom katodom.

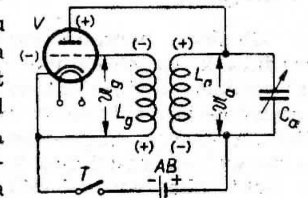
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki je prigušni otpor titrajnog kruga opterećenog diodom? *Odgovor:* Kod visokofrekventnih napona preko 0,3 V_{ef} prigušni otpor je u paralelnom spoju diode jednak otprilike trećini, a u serijskom spoju otprilike polovini opteretnog otpora diode za istosmjernu struju. — *P.*: Koliki može biti maksimalni stupanj modulacije obzirom na demodulaciju bez izobličenja? *O.*: Mora da bude $m \leq (\mathfrak{R}/R) \cdot 100\%$. — *P.*: Što kod toga znači $\mathfrak{R}$ i R? *O.*: R je omski opteretni otpor diode, a $\mathfrak{R}$ je otpor za izmjeničnu struju sastavljen od paralelnog spoja omskog opteretnog otpora i odvodnog otpora rešetke slijedećeg stupnja pojačala. — *P.*: Što je duodioda? *O.*: Ispravljačica koja u zajedničkom balonu ima dvije anode, a katoda im je zajednička. — *P.*: Čemu služe anode? *O.*: Za demodulaciju i za-proizvođenje regulacionog napona u prijemnicima s automatskom regulacijom fedinga. — *P.*: Što je duodioda-trioda? *O.*: Kombinirana elektronka koja u zajedničkom balonu i sa zajedničkom katodom ima diodni i triodni sistem. — *P.*: Kako rade kombinirane elektronke? *O.*: Isto tako kao duodioda i trioda u odijeljenom spoju, samo što je pri tome uštеđena struja žarenja jedne elektronke.

IV. Povratna veza ili reakcija

Princip povratne veze

170. — Najveći i najduhovitiji pronalazak na području radiotehnike je *povratna veza*.[38] Istom je primjena povratne veze omogućila da se elektronka može iskoristiti za *pojačavanje* primanih titraja i za *proizvođenje* elektromagnetskih titraja, dakle kao generator. Pod povratnom vezom razumijevamo spoj koji dio visokofrekventne energije iz anodnog kruga vraća u rešetkin krug. Ovim se povratnim djelovanjem povećava prvobitni izmjenični napon na rešetki, tako da dolazi do odgovarajućeg povećanja anodnog izmjeničnog napona. Proučit ćemo djelovanje povratne veze na najjednostavnijem spoju prema Meissneru (sl. 132). U anodni krug triode V spojen je titrajni krug L_a—C_a ugođen na stanovitu frekvenciju. Ovaj krug je induktivno vezan s rešetkinom zavojnicom L_g. Međusobna veza ove vrsti predstavlja povratnu vezu. Ukopčamo li sklopkom *T* anodnu bateriju *AB* kod uključenog žarenja elektronke, nabit će se kondenzator C_a, pa će time titrajni krug L_a—C_a, kojemu se frekvencija može izračunati prema Thomsonovoj jednadžbi (vidi dio I, jedn. 54) biti potaknut na prigušeno titranje (vidi dio I, odsjek 115). Tako nastali titraji u anodnom krugu induciraju uslijed povratne veze izmjenični napon iste frekvencije u rešetkinoj zavojnici L_g, koji djeluje kao uzbudni izmjenični napon triode V. Zbog toga što elektronka V pojačava, neće slabi i prigušeni titraji titrajnog kruga L_a—C_a oslabiti, nego će uslijed djelovanja uzbudnog izmjeničnog napona biti još pojačani (vidi odsjek 46). Pojačani titraji u anodnom krugu uzrokuju ponovno pojačavanje izmjeničnih napona na rešetki, koji sa svoje strane uzrokuju opet pojačavanje titraja u anodnom krugu. Kod dovoljno čvrste veze između zavojnica L_a i L_g dobivamo konačno neprigušene titraje. Elektronka V *uzbuđuje sama sebe*, pa je tako postala *proizvođačem titraja* (generator!). Do iste pojave doći će i onda ako nije ugođen anodni krug, nego rešetkin krug, te će u tom slučaju zavojnica anodnog kruga djelovati kao zavojnica za povratnu vezu.



Sl. 132.

---
[38] *A. Meissner* (1913)

171. — Proces kod povratne veze može se u mehanici usporediti s njihalom sata, slično kao u odsjeku 116. dijela I. Titraji njihala odgovaraju titrajima anodnog kruga, a pogonski stroj (opruga ili utezi) odgovaraju anodnoj bateriji. S njihalom je vezan zupčanik u koji zahvaća potkova s dva zuba. Na kraju svake polovine titraja prima njihalo preko zupčanika i potkove lagan udarac, koji nadoknađuje izgubljenu energiju trenja pri svakom titraju njihala tako da amplitude titraja njihala ostaju uvijek jednake. Veza između zupčanika i njihala odgovara vezi između zavojnica L_a i L_g, dok njihalom upravljan zupčanik ima značenje uzbudnog napona rešetke elektronke.

172. — Do djelovanja povratne veze može doći samo onda, ako u zavojnici L_g inducirani izmjenični rešetkin napon ima *ispravnu fazu*. U protivnom će doći do slabljenja, odnosno do potpunog potiskivanja titraja u anodnom krugu. Uslijed veze između zavojnica L_a i L_g bit će kod istog smjera namatanja u određenom času gornji kraj zavojnice L_a, dakle također i zavojnice L_g (usporedi sl. 2), te anoda i rešetka najpozitivniji. No kako anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_g$ neke elektronke mora prema rešetkinom izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_g$ (vidi odsjek 48) da ima fazni pomak od 180°, mora rešetka elektronke V u nekom određenom času da bude upravo najnegativnija, ako je anoda najpozitivnija. Moramo se dakle pobrinuti da fazni pomak između zavojnica L_a i L_g odgovara sl. 132. U L_g inducirani izmjenični rešetkin napon mora dakle da ima fazni pomak od 180° prema izmjeničnom naponu u zavojnci L_a. U protivnom bi se djelovanje anodnog i rešetkinog titrajnog kruga poništavalo. Ispravan fazni pomak postizavamo time što zavojnice L_a i L_g motamo protusmjerno. Mora li smjer namatanja obiju zavojnica ostati isti, moraju se oba priključka zavojnice L_g ili L_a spojiti obrnuto. Uslijed dvostrukog okretanja faze za 180° bit će tada anodni i rešetkin krug u ispravnom faznom odnosu.

Ponavljanje

Pomoću *povratne veze* može se dio visokofrekventne energije iz anodnog kruga elektronke nekog pojačala dovesti rešetkinom krugu. Na taj se način može elektronka potpuno iskoristiti za pojačavanje, a i za proizvođenje elektromagnetskih titraja. Kod spoja povratne veze prema *Meissneru* vezan je ugođeni anodni titrajni krug elektronke induktivno sa zavojnicom rešetkinog kruga. Ako je veza dovoljno čvrsta uzbudit će se elektronka sama od sebe, pa će proizvoditi neprigušene titraje. Do djelovanja povratne veze doći će samo onda ako je izabran ispravan fazni odnos između anodnih i rešetkinih titraja. Budući da između rešetkinog i anodnog izmjeničnog napona elektronke postoji fazni pomak od 180°, mora povratna veza anodnog kruga na rešetkinu zavojnicu biti tako izvedena da inducirani izmjenični naponi u rešetkinoj zavojnici imaju upravo fazni pomak od 180° prema izmjeničnim naponima u zavojnici anodnog kruga.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijemo pod povratnom vezom? *Odgovor:* Vraćanje dijela visokofrekventne energije iz anodnog kruga elektronke pojačala u rešetkin krug. — *P.:* Koje osnovno značenje ima povratna veza? *O.:* Pomoću povratne veze može se potpuno iskoristiti svojstvo pojačavanja neke elektronke, a osim toga moguće je osposobiti elektronku za proizvođenje neprigušenih elektromagnetskih titraja. — *P.:* Na koji se najjednostavniji način može postići djelovanje povratne veze? *O.:* U anodni krug elektronke treba spojiti ugođeni titrajni krug, te ga induktivno vezati sa zavojnicom rešetkinog kruga. — *P.:* Objasni proces kod proizvođenja neprigušenih titraja pomoću elektronke s povratnom vezom! *O.:* Kod ukapčanja elektronke nastali prigušeni titraji anodnog kruga prenose se dijelom na zavojnicu rešetkinog kruga. Tako nastali izmjenični naponi na rešetki djeluju uslijed svojstva pojačavanja elektronke na pojačavanje titraja anodnog kruga. Zbog veze sa zavojnicom rešetkinog kruga nastaju pojačani izmjenični naponi na rešetki, koji sa svoje strane uzrokuju ponovo pojačane anodne izmjenične napone, tako da se konačno elektronka sama uzbuđuje i anodni krug titra neprigušeno. — *P.:* Pod kojim je uvjetima moguć ovakav proces rada? *O.:* Veza između zavojnica rešetkinog i anodnog kruga mora da bude dovoljno čvrsta, a osim toga moraju titraji anodnog kruga biti na rešetkin krug preneseni s ispravnim faznim pomakom.

Pitanja

81. Zašto dioda kao ispravljač dolazi u obzir samo u većim prijemnicima?
82. Koju smo mehaničku usporedbu upotrebili da razjasnimo djelovanje povratne veze?
83. Na koje uvjete faznog pomaka treba paziti kod povratne veze?

Zadaci

63. Na diodu u svojstvu ispravljača priključeno je prema sl. 126. i 127. niskofrekventno pojačalo. Rešetkin odvodni otpor iznosi 1 MΩ: a) Koju vrijednost ne smije opteretni otpor prekoračiti za slučaj da demodulacija mora da bude vjerna do stupnja modulacije od 70%? b) Koliki je u tom slučaju ukupni prigušni otpor titrajnog kruga kod paralelnog, odnosno serijskog spoja diode?
64. Nacrtaj spoj triode s induktivnom povratnom vezom za slučaj da je ugođen rešetkin krug i da su rešetkina i anodna zavojnica namotane na zajedničkom valjku u istom smislu!

Radni uvjeti pri samouzbuđenju

173. — Kod reakcije prenosi se neki određeni izmjenični napon $\mathfrak{U}_k$ koji je s izmjeničnim naponom na rešetki $\mathfrak{U}_g$ u fazi, iz anodnog kruga elektronke u krug rešetke (vidi odsjeke 170 i 172). U slučaju da je $\mathfrak{U}_k = \mathfrak{U}_g$ može elektronka doći u samouzbuđenje (samoosciliranje). Prema Barkhausenu naziva se izraz:

$$\boxed{\mathfrak{K} = -\frac{\mathfrak{U}_g}{\mathfrak{U}_a}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (62)$$

faktorom reakcije. Predznak minus dolazi odatle, što između izmjeničnog napona na rešetki $\mathfrak{U}_g$ i izmjeničnog anodnog napona $-\mathfrak{U}_a$ mora posto-

jati fazni pomak od 180° (vidi odsjek 172). Kako je s druge strane n a p o n s k o p o j a č a n j e prema odsjeku 52. jednako odnosu anodnog izmjeničnog napona i izmjeničnog napona rešetke, vrijedi: $\mathfrak{V} = -\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g$. I ovdje je $\mathfrak{U}_a$ s negativnim predznakom, jer se sada za razliku od izvoda u odsjeku 52. (svršetak) ne radi samo o pravoj vrijednosti naponskog pojačanja, nego i o ispravnom faznom odnosu. Kod $\mathfrak{V}$ i $\mathfrak{K}$ radi se dakle o veličinama koje imaju i određen s m j e r, dakle o v e k t o r i m a, pa se te veličine označuju velikim g o t s k i m slovima. Iz gornjega slijedi: $\mathfrak{K} = 1/\mathfrak{V}$, dakle:

$$\boxed{\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} = 1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (63)$$

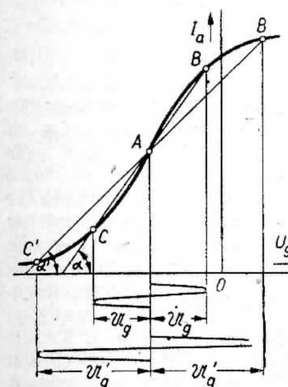
Ako je na primjer $\mathfrak{V} = 20$, onda je $\mathfrak{K} = 1/20 = 5\%$, što znači da do samouzbuđenja dolazi već onda, ako napon priveden reakcijom rešetki iznosi samo 5% od anodnog izmjeničnog napona. Što je veće naponsko pojačanje $\mathfrak{V}$, to manji može biti faktor reakcije $\mathfrak{K}$. Ako do reakcije dolazi preko više stupnjeva, onda je $\mathfrak{V}$ vrlo velik, pa je za samouzbuđenje dovoljan vrlo malen reakcioni napon. Do ovakve neznatne reakcije može doći već preko prirodnih kapaciteta elektronki i spojeva ili preko zajedničkog izvora istosmjerne struje (vidi odsjek 74). Ako se radi samo o jednoj elektronki, onda uz ravnu radnu karakteristiku i rad bez struje rešetke vrijedi prema jedn. (63), (62) i (26): $\mathfrak{K} = 1/\mathfrak{V} = -\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g = D\cdot(R_i + \mathfrak{R}_a)/\mathfrak{R}_a = (D\cdot R_i/\mathfrak{R}_a) + D$. Kako je prema jedn. (92) iz dijela I: $D = 1/(S \cdot R_i)$, dobivamo: $\mathfrak{K} = [R_i/(S \cdot R_i \cdot \mathfrak{R}_a)] + D$. Tako se dobiva *Barkhausenova jednadžba za samouzbuđenje:*

$$\boxed{\mathfrak{K} = D + \frac{1}{S \cdot \mathfrak{R}_a}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (64)$$

Do samouzbuđenja dolazi dakle to lakše, što je manji prohvat D elektronke i što je veća strmina S, odnosno impedancija u anodnom krugu $\mathfrak{R}_a$. Kod z a k r i v l j e n e radne karakteristike treba za S uvrstiti s r e d n j u s t r m i n u S_m iz područja karakteristike, koje se uzbuđuje izmjeničnim naponom rešetke.

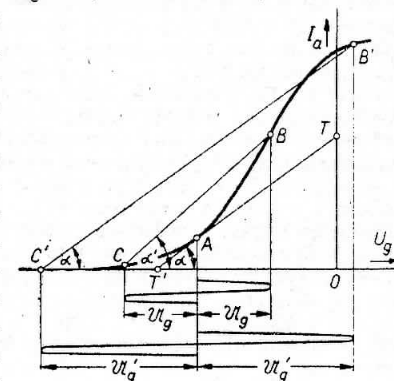
174. — Proces oscilacija koje nastaju zbog reakcije može se razmatrati iz U_g—I_a-radne karakteristike (sl. 133). Ako se radna tačka (tačka mirovanja) A nalazi na sredini radne karakteristike bit će srednja strmina najveća i jednaka $tg\,\alpha$ (vidi odsjek 268, dio I). Ako titraji u krugu rešetke moraju da imaju amplitudu $\mathfrak{U}_g$, mora reakciona veza da bude takva da se putem reakcije na rešetku prenosi upravo toliki izmjenični napon $\mathfrak{U}_g$. Ako je veza čvršća, ako je dakle faktor reakcije $\mathfrak{K}$ veći, dobiva rešetka veći napon reakcije $\mathfrak{U}_g'$. Srednja strmina postala je sada međutim m a n j a i jednaka $tg\,\alpha'$. Kod još jače reakcije postaju titraji u krugu rešetke sve veći, a srednja strmina sve manja. Daljnjem

porastu amplituda titraja u krugu rešetke postavljena je granica, jer titraji bivaju jako prigušeni strujama rešetke, a anodna struja teži vrijednosti zasićenja. Kako tada anodna struja ne može postajati veća, ne mogu ni naponi u anodnom krugu, a prema tome ni naponi reakcije, postati veći. Ako vezu opet slabimo, amplituda titraja ide prema nuli. Iz ovoga slijedi da svakoj vrijednosti $\mathfrak{K}$ odgovara tačno određeno oscilaciono stanje i da srednja strmina stalno opada s porastom amplitude titraja u krugu rešetke. Podržavati oscilacije moguće je prema tome samo tako da se smanjenje vrijednosti srednje strmine radne karakteristike izjednačuje većim faktorom reakcije, dok srednja strmina kod manjeg faktora reakcije u odgovarajućoj mjeri mora rasti. Kako oscilacije slijede tačno reakciju, ne postoji nekontinuiran prijelaz iz stanje oscilacija u drugo stanje. Možemo dakle računati s *blagim* p o č e t k o m (»mekim ulaženjem«) o s c i l a c i j a.



Sl. 133.

175. — Odnosi su bitno drugačiji ako se radna tačka nalazi na dijelu radne karakteristike s manjom strminom (sl. 134). Zbog manje srednje strmine mora faktor reakcije sada da bude veći nego u prvom slučaju, da elektronka dođe u samooscilacije. Kod manjih amplituda u krugu rešetke određena je strmina $tg\,\alpha$ tangentom TT' u radnoj tački. Ako amplitude postanu veće, p o v e ć a v a se i srednja strmina i poprima na primjer kod izmjeničnog napona na rešetki $\mathfrak{U}_g$ vrijednost $tg\,\alpha$. Veća strmina uvjetuje veću anodnu izmjeničnu struju pa uslijed toga postaje anodni izmjenični i reakcioni napon veći. Amplitude titraja rastu dakle brzo, dok srednja strmina ne postane manja i konačno jednaka početnoj u radnoj tački A ($B'C \parallel TT'$). Izmjenični napon na rešetki ima sada amplitudu $\mathfrak{U}_g'$. Na ovu vrijednost dolaze titraji o d m a h nakon ukapčanja, pa se sada radi o *tvrdom počimanju* (»ulaženju«) *oscilacija.* Učinimo li sada vezu slabijom, imat ćemo oscilacije još i onda, ako faktor reakcije postane m a n j i nego što je bilo potrebno u početku, jer kod manjih amplituda imamo p o v e ć a n j e vrijednosti srednje strmine (vidi sl. 134). Ako smo međutim kod neke određene amplitude postigli n a j v e ć u srednju vrijednost strmine, pa vezu i dalje slabimo, *oscilacije će naglo prestati.* Ako ih želimo ponovno uspostaviti, moramo reakciju opet



Sl. 134.

učiniti toliko jakom, kolika je bila u početku. Oscilacije dakle počinju pri reakciji koja je veća od one pri kojoj prestaju. Diskontinuitet *nastupa uvijek kad srednja strmina radne karakteristike s porastom amplituda raste ili s opadanjem pada;* pri tome se pretpostavlja da ne dolazi do struje rešetke.

Ponavljanje

Ako je $\mathfrak{K} = -\mathfrak{U}_g/\mathfrak{U}_a$ *faktor reakcije,* a $\mathfrak{V} = -\mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g$ *naponsko pojačanje,* onda je $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} = 1$. Prema *Barkhausenu* vrijedi kao *uvjet za samouzbuđenje elektronke,* jednadžba: $\mathfrak{K} = D + 1/(S \cdot \mathfrak{R}_a)$. Svakoj vrijednosti $\mathfrak{K}$ odgovara tačno određeno oscilaciono stanje koje se lako vidi iz radne U_g—I_a-karakteristike. Što je jača reakcija, to manja je srednja strmina radne karakteristike u području napona rešetke, koji se iskorištava za oscilacije. Oscilacije slijede tačno reakciju, pa se može računati *s blagim početkom oscilacija.* To međutim vrijedi jedino onda, ako se radna tačka nalazi na najstrmijem mjestu radne karakteristike. Ako se radna tačka nalazi na zakrivljenom dijelu, dakle dijelu s manjom strminom, imamo *tvrdi početak oscilacija.* Amplitude oscilacija u krugu rešetke poprimaju odmah nakon ukapčanja najveću vrijednost i prestaju s druge strane naglo nakon slabljenja reakcije. Da dovedemo elektronku opet u oscilacije, moramo vezu učiniti čvršćom od one kod koje su oscilacije prestale. Ova pojava nastupa uvijek onda kad srednja strmina radne karakteristike s porastom, odnosno opadanjem amplitude oscilacija raste, odnosno pada.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod faktorom reakcije? *Odgovor:* Izraz $\mathfrak{K} = -\mathfrak{U}_g/\mathfrak{U}_a$. — *P.:* Koji odnos postoji između faktora reakcije i naponskog pojačanja? *O.:* $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} = 1$. — *P.:* Koji je matematski uvjet potrebno ispuniti za samouzbuđenje elektronke. *O.:* Jednadžbu samouzbuđenja: $\mathfrak{K} = D + 1/(S \cdot \mathfrak{R}_a)$. — *P.:* Uz koje uvjete imamo blag početak oscilacija? *O.:* Radna tačka mora se nalaziti na što strmijem dijelu radne U_g—I_a-karakteristike. — *P.:* Kako se u tom slučaju mijenja srednja strmina radne karakteristike s amplitudom titraja u krugu rešetke? *O.:* Srednja strmina postaje manja s porastom amplitude. — *P.:* Što nastupa ako se radna tačka kod samouzbuđenja nalazi na manje strmom dijelu karakteristike? *O.:* Oscilacije počinju naglo, dakle tvrdo. — *P.:* Kako se to objašnjava? *O.:* Srednja strmina radne karakteristike postaje u ovom slučaju s porastom amplituda veća, pa anodna izmjenična struja, anodni izmjenični napon i reakcioni napon postaju neprestano veći. — *P.:* Kako u tom slučaju dolazi do početka i prestanka oscilacija? *O.:* Titraji elektronke s tvrdim ulaženjem u oscilacije slijede reakciju diskontinuirano. Ako se reakcija za vrijeme oscilacija oslabi, prestaju kod određenog stupnja reakcije oscilacije naglo, a nanovo počinju ne kod istog, nego kod jačeg stupnja reakcije od onog kod kojeg su prestale.

Smanjivanje prigušenja pomoću reakcije

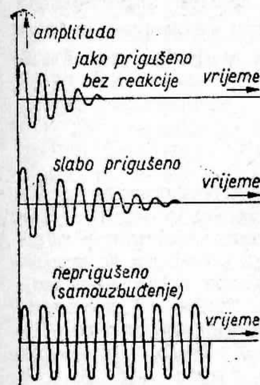
176. — Dosada smo razmatrali kako se reakcija dade primijeniti za *proizvođenje oscilacija.* Na ovoj činjenici osniva se rad odašiljača. Reakcija međutim igra važnu ulogu i u prijemnoj tehnici, gdje se može iskoristiti kao sredstvo za *smanjivanje prigušenja* titrajnih krugova. Iako

se titrajni krugovi s obzirom na gubitke prigušenja mogu izvesti s malenim gubicima, ipak se ovi gubici, bez posebnih mjera za smanjenje prigušenja, ne daju (vidi dio I, odsjek 123) posve ukloniti. Ako se međutim titrajnom krugu rešetke, u kojem se želi smanjiti prigušenje, privede dio energije iz anodnog kruga iste elektronke, može se ovakvom reakcionom vezom otpor prigušenja toga titrajnog kruga po volji smanjiti. Na taj način dobivamo na primjer kod detekcije rešetkom znatno povećanje osjetljivosti i jakosti zvučnog signala, pa se i slabije stanice mogu dobro primati. Smanjenje prigušenja reakcijom djeluje donekle kao *negativni otpor,* koji djelovanje pozitivnog prigušnog otpora djelomično ili posvema poništava. Što više se vrijednost ovoga negativnog otpora približava vrijednosti prigušnog otpora, to veće je smanjenje prigušenja. Kad su obje vrijednosti jednake, dolazi do samouzbuđenja. Ovi odnosi prikazani su na sl. 135.

177. — Ako u anodnom krugu moramo imati izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$, moramo na uzbudnoj rešetki, prema odsjeku 173. imati izmjenični napon $\mathfrak{U}_g = -\mathfrak{U}_a/\mathfrak{V}$. Zbog reakcije će onda na uzbudnoj rešetki nastati reakcioni izmjenični napon $\mathfrak{U}_k = -\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{U}_a$. Ulazni izmjenični napon u krugu rešetke $\mathfrak{U}_e$ primljen od nekog odašiljača treba dakle da ima samo iznos koji nije priveden reakcijom, dakle iznos: $\mathfrak{U}_e = \mathfrak{U}_g - \mathfrak{U}_k = \mathfrak{U}_g - \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{U}_a = \mathfrak{U}_g - \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} \cdot \mathfrak{U}_g$, to jest:

$$\boxed{\mathfrak{U}_e = (1 - \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V})\, \mathfrak{U}_g} \quad \ldots\ldots \quad (65)$$

Da ne bi došlo do oscilacija prilikom prijema, mora da bude $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} < 1$ i $\mathfrak{K} < D + 1/(S \cdot \mathfrak{R}_a)$ jedn. (63). Kako bi bez reakcija moralo da bude $\mathfrak{U}_e = \mathfrak{U}_g$, pojačanje elektronke s reakcijom povećano je prema jedn. (65) na $1/(1 - \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V})$-ti iznos. Ako je na primjer $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} = 0{,}9$ onda je $\mathfrak{U}_e = 0{,}1\, \mathfrak{U}_g$, a to znači da je pojačanje (obzirom na $\mathfrak{U}_e$) reakcijom *podeseterostručeno,* što se praktički dade izvesti bez poteškoća. Za $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} = 1$ imamo prema odsjeku 173. samouzbuđenje. U tom je slučaju $\mathfrak{U}_k = \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{V} \cdot \mathfrak{U}_g = \mathfrak{U}_g$, a $\mathfrak{U}_e = 0$, tako da se oscilacije podržavaju i bez vanjskog uzbuđenja.



Sl. 135.

178. — Smanjenje prigušenja titrajnog kruga pomoću reakcije može se izvesti to bliže granici samouzbuđenja, što je mekši početak oscilacija elektronke; radna tačka mora dakle ležati na što strmijem dijelu radne karakteristike (vidi odsjek 174). Ovim se ujedno objašnjava zašto je kod *detekcije anodom* reakcija loša (vidi odsjek 158). Radna tačka leži u tom slučaju u položenom dijelu karakteristike. Kod *detekcije rešetkom* prilike su bitno povoljnije (vidi odsjek 165), jer ovdje do demodulacije dolazi strujom rešetke, a ne anodnom strujom, pa se radna tačka može

postaviti u položaj koji je za reakciju znatno povoljniji, a da se pri tome ne utječe nepovoljno na demodulatorsko djelovanje. Iz ovoga i odsjeka 174. i 175. vidimo da je s obzirom na djelotvorno smanjenje prigušenja vrlo važan ispravan izbor anodnog napona i prednapona rešetke.

179. — Uotreba reakcije u *prednosti je* ne samo po tome što se može *znatno povećati osjetljivost* (vidi odsjek 176) nego ona *istodobno povećava i selektivnost*. Ako reakcija unosi na primjer deseterostruko povećanje osjetljivosti, penje se i selektivnost na deseterostruku vrijednost. Zato se reakcija primjenjuje u prvom redu kod malenih prijemnika s malim brojem elektronki, koji bez reakcije ne bi ni izdaleka bili dovoljno selektivni. Iz dijela I, odsjeka 205, sl. 151, znamo da je krivulja rezonancije titrajnog kruga to strmija, što je manji prigušni otpor toga kruga. Dalje iz dijela I, odsjeka 207. i 208. znamo da je strma krivulja rezonancije (izuzev kod pojasnih filtara) uzrok zapostavljanju viših zvučnih frekvencija. Stoga ne smijemo sa smanjenjem prigušenja ići predaleko, jer inače dobivamo suviše tamnu reprodukciju. U nekim slučajevima možemo svjetliju reprodukciju dobiti ugradnjom uređaja za korekciju (odsjek 137). Mana je reakcije, osim poteškoća rukovanja pri ugađanju, i povećanje nelinearnih izobličenja reakcijom. Kod *pozitivne reakcije*, o kojoj je ovdje riječ, prenose se naime, za razliku od prilika kod negativne reakcije (vidi odsjek 140) nelinearna izobličenja sadržana u anodnom izmjeničnom naponu, i u krug rešetke. Reakcijom se dakle povećavaju i štetni šumovi koji nastaju u prijemniku (brujanje iz mreže, šum elektronki itd.). Konačno se mora upozoriti i na činjenicu da se kod prijemnika s reakcijom ne smije *s reakcijom nikad ići tako daleko, da elektronka kod koje je reakcija primijenjena dođe u samooscilacije.* Time bi se prijemnik pretvorio u odašiljač, koji bi isijavao visokofrekventne oscilacije i *smeta prijem u širokom krugu. Prema tome je sama po sebi razumljiva dužnost posjednika prijemnika s reakcijom da nastoji izbjeći stvaranje ovakvih smetnji.* U protivnom će susjedi koji imaju prijemnik, u svom prijemniku, uslijed superpozicije visokofrekventnih signala koje primaju sa smetajućim visokofrekventnim signalima prijemnika s pretjeranom reakcijom, čuti neugodno zviždanje (»treptajni tonovi«; vidi dio I, odsjek 191).

Ponavljanje

Reakcija omogućuje ne samo samouzbuđenje elektronke, nego i *smanjenje prigušenja* titrajnih krugova. Smanjenje prigušenja djeluje kao negativni otpor koji poništava djelomično ili posvema djelovanje pozitivnog prigušnog otpora titrajnog kruga. Uslijed toga povećava se znatno osjetljivost, selektivnost i jakost reproduciranih signala prijemnika koji radi s reakcijom. Napon $\mathfrak{U}_e$, koji u krugu rešetke treba da proizvede signal odašiljača, ne mora sada biti jednak izmjeničnom naponu rešetke $\mathfrak{U}_g$. Dovoljno je ako je on sada samo $\mathfrak{U}_e = (1 - \mathfrak{K} : \mathfrak{B})\,\mathfrak{U}_g$. Povećanje selektivnosti smanjenjem prigušenja naročito je važno kod manjih prijemnika. Reakcijom se povećavaju i nelinearna izobličenja, smetnje itd. Reakcija ne smije nikad biti tako jaka da elektronka, koja radi

s reakcijom, dođe u samooscilíranje, jer se u tom slučaju prijemnik pretvara u odašiljač koji isijanim visokofrekventnim titrajima može ometati prijem u širokom krugu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod smanjenjem prigušenja? *Odgovor:* Smanjenje prigušnih gubitaka u titrajnom krugu. — *P.*: Kako se može ovo smanjenje postići? *O.*: Upotrebom reakcije. — *P.*: Kako dolazi do smanjenja prigušenja? *O.*: Tu se radi o djelovanju negativnog otpora koji djelovanje pozitivnog prigušnog otpora djelomično smanjuje ili potpuno poništi. — *P.*: Koje su prednosti smanjenja prigušenja? *O.*: Znatno povećanje osjetljivosti, selektivnosti i jakosti reprodukcije. — *P.*: Kakav je utjecaj smanjenja prigušenja na ulazni izmjenični napon prijemnika? *O.*: Izmjenični napon $\mathfrak{U}_e$, što bi ga prijemnik trebao dobiti od odašiljača, može biti za iznos $\mathfrak{K} \cdot \mathfrak{B} \cdot \mathfrak{U}_g$ manji od izmjeničnog napona na rešetki $\mathfrak{U}_g$, koji je potreban da se dobije izmjenični anodni napon $\mathfrak{U}_a$. — *P.*: Kad smanjenje prigušenja najbolje djeluje? *O.*: Kad se radna tačka elektronke postavi na najstrmiji dio radne karakteristike, kako bi smanjenje prigušenja moglo biti dovedeno bez poteškoća do granice samouzbuđenja. — *P.*: Kakve su neprilike povezane s prejakom reakcijom kod prijemnika? *O.*: Prijemnik može uslijed samooscilacija djelovati kao odašiljač. — *P.*: Zašto je to opasno? *O.*: Zato što se u širokom krugu može čuti zviždanje, koje ometa prijem kad prijemnik zbog prejake reakcije oscilira.

Pitanja

84. Zbog čega mora elektronka u pojačalu, kad je potrebno smanjiti prigušenje, odnosno kod samouzbuđenja, imati blago ulaženje u oscilacije?

85. Čime se objašnjava povoljniji rad detekcije rešetkom nego detekcije anodom, uz primjenu reakcije?

86. Koje su mane titrajnog kruga kod kojeg se je sa smanjivanjem prigušenja išlo predaleko?

Zadaci

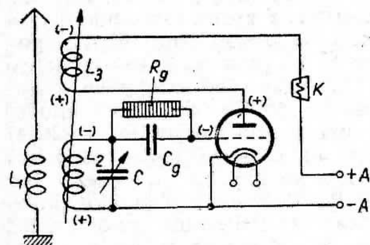
65. Trioda koja radi s reakcijom ima strminu 2 mA/V i unutarnji otpor 12 kΩ. U anodnom se krugu nalazi zaporni krug s induktivitetom 0,1 mH, kapacitetom 200 pF i radnim otporom 1,5 Ω. Koliki je: a) faktor reakcije kod samouzbuđenja? b) koliki mora da bude izmjenični reakcioni napon pri samouzbuđenju, ako je anodni izmjenični napon 25 V (tjemena vrijednost)? c) koliko naponsko pojačanje daje elektronka u samouzbuđenom stanju?

66. Stupanj pojačanja reakcionih demodulatora s rešetkom mora uslijed smanjenja prigušenja biti osam puta manji nego bez reakcije. Koliki mora biti: a) ulazni izmjenični napon, ako bi potrebni izmjenični napon na rešetki morao da bude 0,6 V (tjemena vrijednost)? b) faktor reakcije kod naponskog pojačanja elektronke?

Važniji spojevi s reakcijom

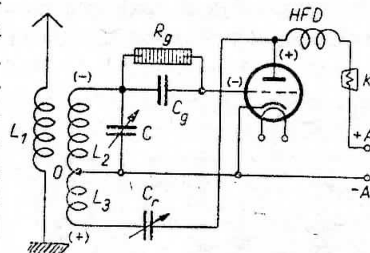
180. — Nakon dosadašnjih općih razmatranja o biti i djelovanju reakcije pozabavit ćemo se sada — uzevši za bazu demodulator s ispravljanjem pomoću rešetke — najpoznatijim i najčešće upotrebljavanim *reakcionim sklopovima* kod prijemnika. Ograničit ćemo se pri tome

na *induktivnu reakciju* koju poznajemo već iz sl. 132. Iako postoje i drugi spojevi reakcije (na primjer kapacitivna reakcija), ne postoji naravno nikakva vrsta reakcije koja bi omogućivala jači prijem, nego neka druga. Razni spojevi s reakcijom razlikuju se međusobno samo u načinu r e g u l a c i j e stupnja reakcije. Mi ćemo početi s *čistom induktivnom reakcijom.* Na sl. 136. imamo demodulaciju rešetkom kod koje se primljeni izmjenični naponi na rešetku dovode induktivnom vezom zavojnice L_1 u anteni s krugom L_2—C kojim se vrši ugađanje (vidi dio I, sl. 149-b) i preko elemenata C_g—R_g (vidi sl. 123-a). Za razliku od spoja na sl. 132. nije krug na koji se vrši reakcija u anodnom krugu, nego u krugu rešetke (vidi odsjek 170 na svršetku), a zavojnica za reakciju L_3 vezana je zavojnicom L_2 induktivno. Veličina faktora reakcije $\mathfrak{R}$, dakle stupanj reakcije, može se po volji m i j e n j a t i približavanjem ili udaljivanjem zavojnica L_2—L_3 jedne od druge, što je na shemi označeno strelicom preko obiju zavojnica. U praktičkoj izvedbi ovih spojeva potrebno je, kao i kod svih spojeva s reakcijom, paziti na ispravan »polaritet« zavojnica. Pri namatanju u *istom smjeru* vrijede u određenom momentu naponski odnosi prikazani na sl. 136. (vidi sl. 132 i odsjek 172). Bit će dobro ako zapamtimo ovo općenito pravilo za spajanje: *Ako su obje zavojnice L_2 i L_3 namatane istim smjerom mora se, da se postigne smanjenje prigušenja, očetak zavojnice L_2 spojiti s rešetkom, a kraj druge zavojnice L_3 s anodom; ostala dva slobodna kraja treba spojoti za odgovarajuće polove izvora struje. Reakciona zavojnica L_3 ima prosječno* p o l o v i n u d o d v i j e t r e ć i n e broja zavoja zavojnice u krugu rešetke L_2. Čista induktivna reakcija ima manu (ne uzevši u obzir manje-više nepriličnо mijenjanje veze među zavojnicama) da je ugađanje rešetkinog kruga ovisno o stupnju reakcije zbog kapaciteta spojeva i vlastitog kapaciteta zavojnica. Krug rešetke mora da se zbog toga nakon svake promjene stupnja reakcije nanovo ugađa.



Sl. 136.

181. — Ova se mana može otkloniti ako se upotrebi *Leithauserov* spoj *induktivne reakcije s kapacitivnom regulacijom* kao na sl. 137. U ovom spoju zavojnice L_2—L_3 namatane su *istim smjerom* i na zajedničkom nosaču. Induktivno djelovanje zavojnice L_3 na zavojnicu L_2 je nepromjenljivo. Stupanj reakcije regulira se promjenljivim kondenzatorom C_r s kapacitetom najviše 250 do 500 pF. Što je veći ovaj kapacitet, to je manji njegov otpor, pa će to jača visokofrekventna struja teći kroz reakcionu zavojnicu L_3 (to jači će biti faktor reakcije). Na ovaj način dade se stupanj reakcije regulirati mnogo finije i ugodnije nego spojem na sl. 136. U anodnom krugu nalazi se osim toga i *visokofrekventna prigušnica HFD* (30 do 40 mH za područje od 200 do 2000 m). Ona djeluje kao električka skretnica, dijeleći visokofrekventne titraje od niskofrekventnih. Visokofrekventni titraji vode se preko kondenzatora C_r (velik otpor za struje niskih frekvencija) na reakcionu zavojnicu L_3, a niskofrekventni preko visokofrekventne prigušnice *HFD* (velik otpor za visokofrekventne struje) na slušalice *K*. U praktičkoj izvedbi potrebno je međutim paziti na to da vlastita frekvencija prigušnice *HFD, dana* induktivitetom i vlastitim kapacitetom, bude i s p o d najniže frekvencije koja se želi primati, dakle da ima rezonanciju kod frekvencije koja odgovara d u l j e m valu od najduljega, koji za prijem dolazi u obzir. Ako to nije, onda može kod ovakvog demodulatora i bez induktivne reakcije doći do samouzbuđenja, i to vezom preko kapaciteta anoda-rešetka (vidi odsjek 80). Konačno napominjemo da se umjesto slušalica *K* na sl. 136. i 137. može priključiti i niskofrekventno pojačalo (vidi na primjer sl. 142).



Sl. 137.

Ponavljanje

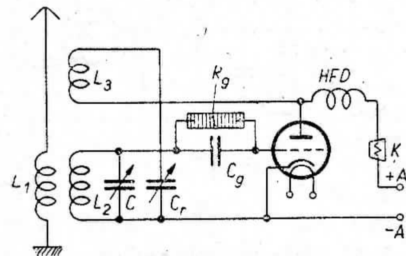
Kod *čiste induktivne reakcije* zavojnica u anodnom krugu djeluje na zavojnicu titrajnog kruga rešetke koji se može ugađati. Stupanj reakcije mijenja se promjenom razmaka između zavojnica. Ako su obje zavojnice motane istim smjerom, mora se početak jedne zavojnice spojiti s rešetkom, a kraj druge s anodom. Ugađanje kruga rešetke ovisno je o stupnju reakcije. Kod *induktivne reakcije s kapacitivnom regulacijom* prema *Leithauseru* anodna zavojnica i zavojnica u krugu rešetke namatane su istim smjerom na zajednički nosač. Reguliranje stupnja reakcije vrši se promjenljivim kondenzatorom koji je spojen u seriju s anodnom zavojnicom. Prigušnica u anodnom krugu služi za odvajanje visokofrekventnih titraja od niskofrekventnih. Ovakav spoj omogućuje mnogo finije ugađanje stupnja reakcije nego kod čiste induktivne reakcije.

Pitanja i odgovori

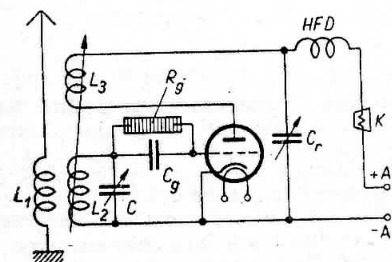
Pitanje: Kako djeluje čista induktivna reakcija? *Odgovor:* Visokofrekventni titraji prenose se induktivno preko zavojnice u anodnom krugu na rešetkin krug koji se može ugađati. — *P.:* Kako se pri tome može mijenjati stupanj reakcije? *O.:* Mijenjanjem razmaka između zavojnica. — *P.:* Koje smo pravilo upoznali za postavljanje ispravnog polariteta? *O.:* Pri namatanju u istom smjeru mora se početak jedne zavojnice spojiti na rešetku, a konac druge na anodu. — *P.:* Koje su mane čiste induktivne reakcije? *O.:* Ugađanje kruga rešetke ovisno je o stupnju reakcije. — *P.:* U kojem je spoju ova mana manja? *O.:* Kod induktivne reakcije s kapacitivnom regulacijom prema *Leithauseru.* — *P.:* U čemu se ovaj spoj razlikuje od čiste induktivne reakcije? *O.:* Zavojnica u krugu anode i ona u krugu rešetke namatane su u istom smjeru i na zajedničkom nosaču; regulacija stupnja reakcije vrši se promjenljivim kondenzatorom spojenim u seriju sa zavojnicom u anodnom krugu. — *P.:* Koja je još osobitost ovoga spoja? *O.:* Visokofrekventnu prigušnicu

u anodnom krugu. — *P.:* Koja je svrha te prigušnice? *O.:* Ona je električka skretnica koja odjeljuje niskofrekventne titraje od visokofrekventnih.

182. — Reakcioni spoj na sl. 137. prilično je osjetljiv na *kapacitet ruke,* jer kondenzator C_r nije ni jednim svojim krajem spojen na minus vod. Približimo li ruku kondenzatoru C_r mijenja se njegov kapacitet, a time i stupanj reakcije. Ove promjene nastaju uslijed kapaciteta ljudskog tijela prema zemlji. Zbog ove pojave često se ne može reakcija ugoditi tik pred samooscilacije. Ova mana dade se u znatnoj mjeri smanjiti tako da se kondenzator C_r jednim krajem spoji sa mius-vodom —*A.* Tada dobivamo spoj kao na sl. 138. U ovom slučaju ne mogu više zavojnice L_2 i L_3 biti namotane jedna kao nastavak druge (vidi dio I, odsjek 223 i sl. 166). Ispravan polaritet određuje se prema pravilu iz odsjeka 180. Spoj na sl. 138. odgovara uostalom onom na sl. 137. Prednost manje osjetljivosti na ručni kapacitet dolazi međutim do izražaja jedino onda, ako se *pokretni* dio promjenljivog kondenzatora C_r (rotor) priključi na —*A,* jer je tada na minus-vod spojena i osovina, koja inače dolazi najbliže ruci kojom se vrši ugađanje.

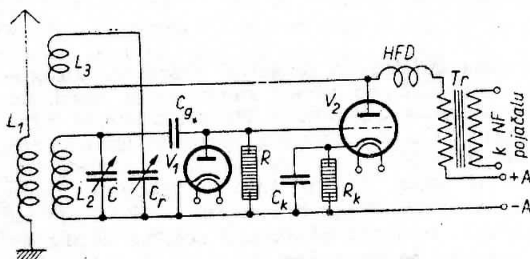


Sl. 138.



Sl. 139.

183. — Na sl. 139. vidimo sklop koji se odlikuje vrlo malom osjetljivošću na ručni kapacitet, a osim toga se stupanj reakcije može vrlo fino regulirati. Spoj po svome pronalazaču nosi ime *Schnellov spoj,* a upotrebljava se vrlo često u prijemnicima za kratke valove. I ovdje se radi o i n d u k t i v n o j reakciji (vidi sl. 136) koja se može regulirati promjenom razmaka između L_2 i L_3, kao i promjenom kapaciteta kondenzatora C_r. Gruba regulacija vrši se pri tome *induktivno* pomoću zavojnica L_2 i L_3, a fina kapacitivno kondenzatorom C_r. Kondenzator C_r (200 do 300 pF) ovdje je spojen p a r a l e l n o anodnom krugu.



Sl. 140.

184. — Na sl. 140. vidimo konačno takozvani *Nestelov spoj.* To je reakcioni spoj koji se odlikuje naročito visokom kvalitetom u pogledu tona. Kako iz odsjeka 164. znamo, ima demodulacija rešetkom kod primanja duboko moduliranih signala prilično velik faktor izobličenja, jer staza katoda-rešetka, koja se iskorištava kod demodulacije, ima velik, a uz to i promjenljiv otpor. Osim toga djeluje demodulator istodobno i kao niskofrekventno pojačalo (vidi odsjek 161), pa se faktor izobličenja zbog struje rešetke još dalje povećava. Faktor izobličenja bit će međutim znatno manji ako se za demodulaciju upotrebi posebna *dioda* V_1 (vidi odsjek 166 i sl. 126). Nestelov spoj odgovara inače onome na sl. 138. Kako elektronka V_2, koja vrši niskofrekventno pojačavanje, ima automatski *negativni* prednapon rešetke dobiven pomoću otpornika R_k u katodnom dovodu, koji je premošten velikim kondenzatorom C_k, nalazi se njezina radna tačka izvan područja struja rešetke. Uslijed toga dolazi i do naročito blagog ulaženja u oscilacije, pa je omogućeno fino ugađanje stupnja reakcije.

Ponavljanje

Osjetljivost na kapacitet ruke promjenljivog kondenzatora koji se upotrebljava za regulaciju stupnja reakcije znatno se smanjuje ako se pomični skup ploča spoji na minus-pol. U *Schnellovom* spoju spojen je reakcioni promjenljivi kondenzator paralelno anadnom krugu. Regulacija reakcije vrši se induktivno mijenjanjem razmaka između zavojnica u krugu anode i rešetke i kapacitivno reakcionim kondenzatorom. Schnellov spoj naročito je neosjetljiv prema kapacitetu ruke i omogućuje vrlo fino ugađanje stupnja reakcije. Faktor izobličenja demodulatora s reakcijom može se znatno smanjiti upotrebom *Nestelovog spoja.* U ovom spoju se za demodulaciju upotrebljava posebna dioda, dok kao niskofrekventno pojačalo služi trioda koja radi s negativnim prednaponom na rešetki.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod osjetljivošću promjenljivog kondenzatora na kapacitet ruke? *Odgovor:* Kapacitet promjenljivog kondenzatora mijenja se približavanjem ruke, kojom se vrši ugađanje, uslijed kapaciteta ljudskog tijela. — *P.:* Kako se ovo može ublažiti? *O.:* Tako da se pomični slog ploča spoji s minus-polom. — *P.:* Koji se reakcioni spoj odlikuje naročito malenom osjetljivošću na kapacitet ruke? *O.:* Schnellov spoj. — *P.:* Kako se regulira stupanj reakcije u Schnellovu spoju? *O.:* Gruba regulacija vrši se induktivno međusobnim približavanjem i udaljivanjem zavojnica u anodnom krugu i krugu rešetke, a fina regulacija kapacitivno pomoću promjenljivog kondenzatora paralelnog anodnom krugu. — *P.:* Koje su prednosti ovakvog spoja? *O.:* Stupanj reakcije dade se vrlo fino regulirati, što je naročito važno kod prijemnika za kratke valove. — *P.:* Koje su prednosti reakcionog spoja po *Nestelu? O.:* Ovaj spoj ima mnogo manji faktor izobličenja nego drugi reakcioni spojevi. — *P.:* Čime se to postizava? *O.:* Demodulacija se vrši, za razliku od drugih spojeva, posebnom diodom, tako da trioda koja vrši niskofrekventno pojačavanje može da radi s negativnim prednaponom na rešetki.

Pitanja

87. Koji uvjet mora da zadovoljava visokofrekventna prigušnica u reakcionim spojevima s kapacitivnom reakcijom?

88. Zašto smeta osjetljivost na kapacitet ruke kod prijemnika?

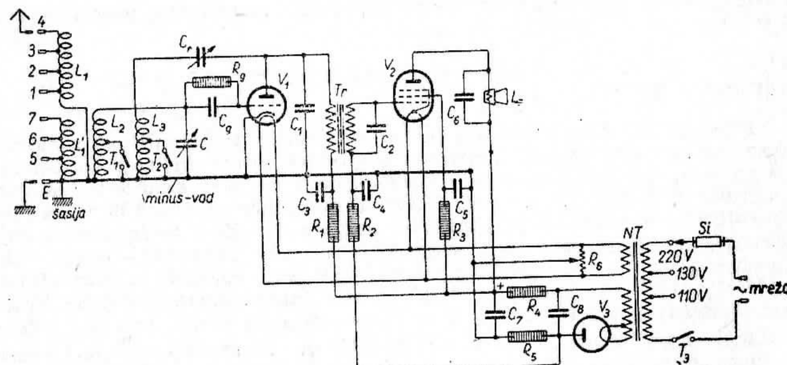
Zadaci

67. Kolike vrijednosti moraju po prilici da imaju u *Leithauserovu* spoju oba promjenljiva kondenzatora, kondenzator rešetke, odvodni otpornik i visokofrekventna prigušnica za obično razglasno područje?

Direktni prijemnik sa jednim krugom

185. — Ako jednim reakcionim demodulatorom želimo slušati preko zvučnika, moramo niskofrekventne titraje dalje pojačati niskofrekventnim pojačalom. Tako dobivamo *direktni prijemnik s jednim krugom.* Oznaka »*direktni*« dolazi odatle što se pojačavanje primljenih titraja vrši d i r e k t n o, bez posredovanja, što nije slučaj na primjer kod prijemnika koji rade na principu superpozicije. Dalje govorimo o »*prijemniku s jednim krugom*« u slučaju kad prijemnik ima samo jedan titrajni krug koji se dade ugoditi na željenu frekvenciju. Osim toga karakteriziran je svaki prijemnik i *brojem elektronki.* Pri tome se pod tim brojem do sredine g. 1938. razumijevao samo broj elektronki koje su vršile pojačavanje, a ne i pomoćne elektronke kao diode, ispravljačice i slično. Dobar i jednostavan direktan prijemnik je pučki prijemnik, shemu kojega vidimo na sl. 141. Njime je omogućen prijem lokalnog odašiljača i jakih bližih odašiljača.

186. — Shema pučkog prijemnika vidi se, kako je spomenuto, na sl. 141. Vidimo odmah da se radi o demodulatoru s rešetkom (audion),

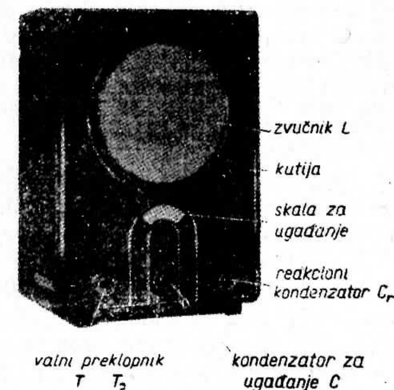


Sl. 141.

s induktivnom, kapacitivno reguliranom reakcijom (vidi sl. 137) i jednostavnim izlaznim stupnjem s pentodom koja je spojena pomoću transformatora. Kako nam je djelovanje pojedinih stupnjeva već poznato, možemo se upoznati s nekim dopunama: antenska zavojnika L_1 ima

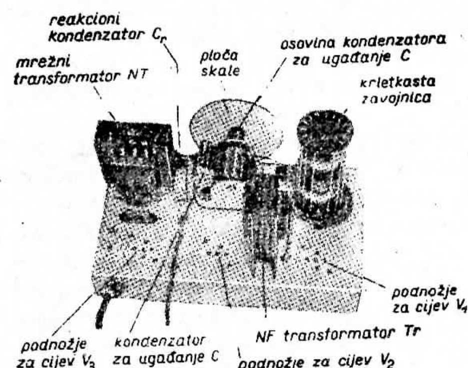
odvojke *1* do *4* za prijem srednjih valova (200 do 600 m), a zavojnica L_1 odvojke *5* do *7* za prijem dugih valova (800 do 2 000 m). Odvojci omogućuju dobro prilagođenje i povoljnu vezu s prijemnom antenom. Antenske zavojnice, zavojnice u krugu rešetke i reakciona zavojnica izvedene su s ukrštenim namotajem od visokofrekventne pletice (vidi dio I, odsjeke 8 i 47), a nalaze se na istom cilindričnom nosaču (vidi odsjek 143 »krletkast namotaj«). Valnim preklopnikom T_1 i T_2 prekapčaju se zavojnice s jednog na drugo prijemno područje (vidi dio I, odsjek 222 i sl. 165). Promjenljivi kondenzator za ugađanje (vidi dio I, sl. 51) ima konačni kapicitet $C = 500$ pF, a reakcioni kondenzator (vidi dio I, sl. 52) kapacitet $C_r = 200$ pF. U krugu rešetke triode V_1 (na primjer REN 904, A 4110) nalazi se kondenzator $C_g = 100$ pF i odvodni otpornik $R_g = 2$ MΩ. U anodnom krugu iste elektronke nalazi se mali kondenzator C_1 (60 pF) koji demodulaciono i reakciono djelovanje čini jednoličnijim. Kondenzator C_2 (150 pF) spojen paralelno izlaznoj strani niskofrekventnog transformatora T_r ($ü = 1:4$) uzrokuje kod frekvencije od nekih 800 Hz paralelnu rezonanciju, uslijed čega su srednji tonovi više istaknuti, a vrlo visoki i ostaci visokofrekventnih struja kratko spojeni. Izlazna pentoda V_2 RES 164, odnosno L 416 D', dobiva ispravan napon zaslonske rešetke od 75 V preko otpornika $R_3 = 0,1$ MΩ premoštenog kondenzatorom $C_5 = 0,1$ μF (vidi odsjek 120). Zvučnik L sa slobodnim titranjem premošten je kondenzatorom $C_6 = 5\,000$ pF koji kod visokih frekvencija djeluje kao čvrst regulator boje tona (vidi odsjek 135).

187. — Dio za priključak na mrežu radi kao jednotaktni ispravljač (vidi sl. 9) s ispravljačicom V_3 (RGN 354, G 354). Ulazni kondenzator ima kapacitet $C_8 = 2$ μF, a otporni filtarski spoj (vidi odsjek 31) sastoji se od otpornika R_4 (3 kΩ), R_5 (700 Ω) i kondenzatora $C_7 = 4$ μF. Pogonski istosmjerni napon na kondenzatoru C_8 iznosi oko 260 V kod jakosti struje od kojih 16 mA. Ukupna struja koja teče kroz otpornik R_5 uzrokuje na njemu pad napona od 11 V, a taj služi kao prednapon rešetke za izlaznu pentodu. Otpornik R_2 (2 MΩ) i kondenzator C_4 (0,1 μF) čine dodatni filtarski spoj za filtriranje prednapona, dok otpornik R_1 (50 kΩ) i kondenzator C_3 (1 μF) služe istodobno za filtriranje anodne struje i snizivanje anodnog napona za audionsku elektronku (vidi odsjek 76). Namotaj za žarenje na transformatoru NT premošten je eliminatorom brujanja $R_6 = 100$ Ω (vidi odsjek 32). Ulazna strana mrežnog transformatora NT ima odvojke za priključak na izmjenične napone 110 V, 130 V ili 220 V. S_1 je fini osi-



Sl. 142.

gurač (0,5 A), a T_3 mrežni uklopac. Na sl. 142. vidimo konačno vanjski izgled, a na sl. 143. unutarnji izgled takvog jednog pučkog prijemnika.



Sl. 143.

Šasija je od aluminija (vidi dio I, odsjek 225), a oznake na sl. 143. odgovaraju onima na sl. 141.

Ponavljanje

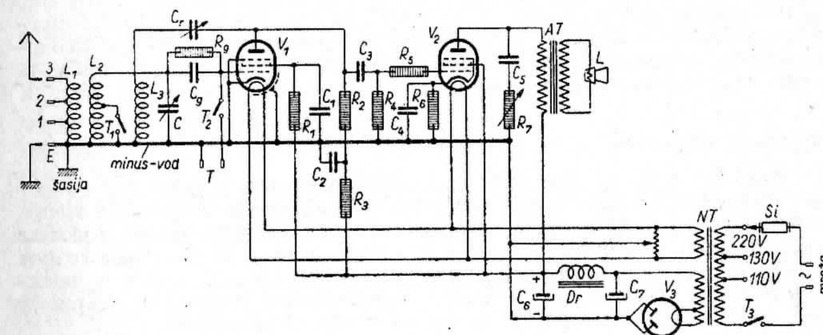
Pučki prijemnik opisan u odsjecima 185. do 187. tipičan je predstavnik grupe direktnih prijemnika s jednim ugođenim krugom. Njegov jedini titrajni krug može se ugađati na frekvencije iz područja srednjih i dugih valova, a za prijelaz s jednog područja na drugo služi preklopnik. Prijemnik ima dvije prijemne elektronke. Primljeni visokofrekventni titraji demoduliraju se reakcionim demodulatorom s rešetkom, a stupanj reakcije regulira se promjenljivim kondenzatorom. Niskofrekventni titraji pojačavaju se dalje na jakost potrebnu za pogon zvučnika u stupnju s pentodom, koja je s demodulatorom vezana pomoću transformatora. Mrežni dio radi s jednotaktnim ispravljanjem i primarno se može priključiti na tri razna napona mreže.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je direktni prijemnik s jednim krugom? *Odgovor:* Prijemnik kod kojeg se pojačavanje primljenog signala vrši d i r e k t n o i koji ima samo j e d a n krug za ugađanje. — *P.*: Koji su najpoznatiji prijemnici ove vrste? *O.*: Pučki prijemnici. — *P.*: Koje su ideje vodilje pri konstrukciji takvih prijemnika? *O.*: Mogućnost da i najsiromašniji dođu do jeftinog prijemnika, kojim se osim lokalne stanice može slušati i nekoliko bližih jačih odašiljača. — *P.*: Kako su ovakvi prijemnici građeni? *O.*: Za demodulator služi redovito audion s reakcijom koja se regulira kapacitivno, a nakon toga slijedi pojačavanje s pentodom s transformatorskom vezom. — *P.*: Kakav je mrežni dio? *O.*: Sa jednotaktnim ispravljačem. — *P.*: Čime se postizava osjetljivost i selektivnost? *O.*: Upotrebom dijelova bez gubitaka, naročito visokofrekventnih zavojnica i promjenljivih kondenzatora za ugađanje, a osim toga reakcijom koja omogućuje blago ulaženje u oscilacije, zatim antenskom zavojnicom s odvojcima.

188. — Slični prijemnici izrađuju se i kao baterijski prijemnici i kao univerzalni prijemnici za priključak na mrežu izmjenične ili istosmjerne struje. U posljednjem slučaju građeni su u principu kao i prije opisani, s tom razlikom što ovi imaju elektronke iz V-serije (na primjer VC 1 i VL 1; vidi dio I, odsjek 259). Mrežni je dio sličan onome na sl. 33. (bez predotpora *EU*), a kao ispravljačicu ima jednu za jednotaktno ispravljanje (na primjer VY 1; vidi odsjek 36). Prilagođivanje na napone mreže 110 V, 125 V, 150 V, 220 V i 240 V vrši se predotporom s odvojcima. Pogonski istosmjerni napon jednak je naponu mreže, pa ovakav prijemnik kod nižih napona mreže radi slabije. Na baterijski pučki prijemnik vratit ćemo se kasnije.

189. — Prijemnici s audionom (demodulacija rešetkom) mogu da dadu mnogo više ako se za demodulaciju upotrebi *pentoda* (vidi odsjek 165). U tom slučaju dobivamo *audion sa zaštitnom rešetkom.* Shemu prijemnika s ovakvim audionom vidimo na sl. 144. Za demodulator može se upotrebiti na primjer AF 7[39]. Način rada takvog audiona jednak je načinu rada spoja prikazanog na sl. 141. U krugu rešetke imamo osim toga još dvije priključnice *T* za priključak električke gramofonske doze, koju se može priključiti ili isključiti sklopkom T_2. Istosmjerni napon za zaslonsku rešetku dovodi se preko predotpora R_1 (0,5 do 1 MΩ). Ovaj napon mora kod AF 7 da iznosi oko 20 V, jer je napon na anodi oko 30 V (otporno pojačalo). Pentoda je ovaj put vezana na izlazni stupanj preko otpora. Otpor u anodnom krugu ima uz pogonski istosmjerni napon od 250 V vrijednost 0,2 MΩ do 0,3 MΩ. Ovakav audion sa AF 7 daje u najboljem slučaju niskofrekventni izmjenični napon



Sl. 144.

od oko 15 V_{ef} (uz $R_1 = 0{,}5$ MΩ, $R_2 = 0{,}2$ MΩ), pa može bez poteškoća do kraja uzbuditi izlaznu pentodu AL 1, AL 4, ili AL 5 (vidi odsjek 125). Na temelju ranije rečenoga iznosi $C_1 = 0{,}5$ μF, $C_2 = 2$ μF, $C_3 = 10\,000$ do 20 000 pF, $R_4 = 0{,}5$ do 1 MΩ. Otpornik R_5 ima oko 50 kΩ i služi kao visokofrekventni zapor koji sprečava dolazak visokofrekventnih titraja na izlazni stupanj. Na shemi vidimo dalje regulator boje tona C_5—R_7 (vidi odsjek 135) i izlazni transformator *AT* (vidi sl. 86). Izlazna pentoda V_2 dobiva automatski prednapon pomoću otpornika R_6 premoštenog kondenzatorom C_4. Mrežni dio je izveden s jednotaktnim ispravljanjem, ali s ispravljačicom za dvotaktno ispravljanje V_3 (na primje AZ 1), kojoj su anode spojene paralelno, pa radi kao jednotaktna ispravljačica. Može se međutim upotrebiti i ispravljačica za jednotaktno ispravljanje.

190. — Za filtriranje istosmjerne struje upotrebljava se jednočlani filtar s prigušnicom Dr—C_6 (vidi sl. 20 i odsjeke 28 i 29). C_6 i C_7 su elektrolitski kondenzatori s kapacitetom po 6 do 8 μF. Ulaz mrežnog dijela

[39]) Vanjska metalizacija, na slici označena crtkano, spaja se s minus-vodom (vidi dio I, odsjek 258).

sličan je onome na sl. 141. Prijemnik izrađen pažljivo prema shemi na sl. 144. jednostavan je i omogućuje vrlo dobar prijem velikih odašiljača. Eventualno probijanje lokalnog odašiljača dade se spriječiti ugradnjom zapornog kruga u krug antene (vidi dio I, odsjek 210). Mjesto antenske zavojnice s odvojcima može se primijeniti i kontinurano mijenjanje antenske veze, i to mijenjanjem međusobnog položaja zavojnica, čime se može lijepo regulirati jakost zvuka i selektivnost. Mjesto »zračnih« zavojnica mogu se upotrebiti i zavojnice s visokofrekventnom željeznom jezgrom (vidi dio I, odsjek 48).

Ponavljanje

Osim pučkih prijemnika za priključak na mrežu izmjenične struje postoje isto takvi za baterijski pogon, a također i univerzalni, koji se mogu priključiti na mrežu istosmjerne ili izmjenične struje, pa u ovom slučaju rade s elektronkama iz V-serije. Za demodulator može se upotrebiti audion sa zaštitnom rešetkom sa zavojnicama koje imaju visokofrekventnu željeznu jezgru, a veza s izlaznom elektronkom može se izvesti otpornikom i kondenzatorom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje su prednosti univerzalnih pučkih prijemnika? *Odgovor:* Mogućnost priključivanja na mrežu istosmjerne ili izmjenične struje. — *P.:* Kako se može povećati osjetljivost direktnih prijemnika s jednim krugom? *O.:* Upotrebom pentode kao demodulatora. — *P.:* Kako se kod pučkih prijemnika može poboljšati regulacija jakosti zvuka i selektivnosti? *O.:* Tako da se upotrebi kontinuirano mijenjanje antenske veze umjesto da se antenska zavojnica izvede s odvojcima.

Pitanja

89. Kakvi pučki prijemnici postoje za priključak na mrežu?

90. Što je audion sa zaštitnom rešetkom?

91. Kako se može ukloniti prodiranje lokalnog ili jakih odašiljača kod prijemnika s jednim krugom?

Zadaci

68. Ulazni visokofrekventni napon na rešetki audiona kod direktnog prijemnika s jednim krugom mora da bude 0,1 V_{ef}. Koliki mora da bude antenski izmjenični napon, dakle osjetljivost: a) bez reakcije, b) s reakcijom, ako je oštrina rezonancije titrajnog kruga rešetke prigušenog antenom 10, a reakcija uzrokuje deseterostruko smanjenje prigušenja?

69. Pučki univerzalni prijemnik ima slijedeće pogonske vrijednosti: unutarnji otpor pentode = 60 kΩ, unutarnji otpor triode = 15 kΩ, strmina pentode = 2,2 mA/V, faktor pojačanja triode = 44, impedancija zvučnika = 8 kΩ kod 400 Hz, impedancija anodnog kruga triode = 40 kΩ kod 400 Hz, prijenosni odnos niskofrekventnog transformatora 1 : 4. Koliki mora da bude niskofrekventni izmjenični napon na rešetki demodulatora s rešetkom, ako pentoda mora da dade izmjeničnu snagu od 50 mW?

V. Visokofrekventno pojačalo

Općenito o pojačalima visoke frekvencije

191. — Ako jakost polja udaljenog odašiljača nije na mjestu prijema dosta velika, neće nam prijemnik s jednim titrajnim krugom, čak ni s reakcijom omogućiti dovoljno jak prijem. Kod premalenih ulaznih izmjeničnih napona morat ćemo osim toga računati i s jakim nelinearnim izobličenjima u demodulatoru (vidi odsjek 167). Prema tome nema nikakvog smisla jakost primljenog signala povećavati upotrebom većeg broja stupnjeva u pojačalu niske frekvencije. U tome slučaju neće nam naime samo vanjske i unutarnje smetnje biti pojačane u nepodnošljivoj mjeri, nego će uslijed povećanog broja stupnjeva doći i do dodatnih izobličenja. Tada pomaže samo jedan način pojačavanja, to jest *pojačavanje izmjeničnog napona* ispred demodulatora. Preostaje nam dakle jedino pojačavanje *visokofrekventnog napona* u *visokofrekventnom pojačalu* s jednim ili više stupnjeva. Na taj način povećava se *osjetljivost prijemnika,* pa se i signali koji su na mjestu prijema slabi mogu dobro primati.

192. — U biti je pojačalo visoke frekvencije jednako građeno kao i niskofrekventno pojačalo i radi na isti način. Potrebno je jedino naglasiti da niskofrekventno pojačalo mora da jednoliko pojačava što je moguće širi pojas tonskih frekvencija (npr. od 40 Hz od 10 000 Hz), dok je visokofrekventno pojačalo općenito ugođeno na frekvenciju vala nosioca odašiljača koji želimo slušati. Tačnije rečeno: i visokofrekventno pojačalo je ugođeno na jedan pojas frekvencija, samo je širina toga pojasa u odnosu prema rezonantnoj frekvenciji neznatna (vidi dio I, odsjek 190). Ugađanje međutim mora da bude moguće unutar širokog područja visokih frekvencija, jer između dugih valova i ultrakratkih valova imamo područje frekvencija od 10 kHz do 60 000 kHz (vidi dio I, odsjek 142). Kako se dalje primjenom visokofrekventnog pojačala povećava i broj titrajnih krugova prijemnika, rast će i njegova *selektivnost* (vidi dio I, odsjeke 203 do 206), što je kod prijema udaljenih stanica vrlo važno. Naravno da će u ovom slučaju i rukovanje prijemnikom biti teže, jer se svaki pojedini titrajni krug mora tačno ugoditi na frekvenciju stanice koju želimo primati. Već smo međutim u dijelu I, odsjeku 231. vidjeli da se ove teškoće dadu ukloniti upotrebom *višestrukih promjenljivih kondenzatora.* Njihovom upotrebom dolazimo do ugađanja jednim dugmetom, za koje je međutim potrebno da pojedini

kondenzatori, koji se nalaze na zajedničkoj osovini, imaju u čitavom području prijema tačno jednake vrijednosti.

193. — Kod visokofrekventnog pojačala određenog za pojačanje signala razglasnih stanica radi se, kao i kod niskofrekvenih pojačala, isključivo o pojačavanju napona (vidi odsjek 63). Pri tome vrijede u biti ista ona razmatranja, i računski postupak koji smo imali u spomenutom odsjeku, pa će naše sadašnje razmatranje radi toga biti kraće. Pojačanju napona postavljene su i kod visokofrekventnog pojačala neke granice. Pri prevelikom pojačanju pojačavaju se zajedno sa željenim signalom i sve atmosferske i ostale smetnje, tako da katkada nije uopće moguć prijem udaljenih stanica. Prema tome nema nikakvog smisla htjeti slušati odašiljač, kojeg su signali slabiji od smetnji. Pojačalo s više stupnjeva visokofrekventnog pojačavanja može osim toga lako doći u samooscilacije zbog električkih i magnetskih *rasipnih veza* (vidi dio I, odsjeke 224 i 225). Zbog toga je potrebno pažljivo *oklopiti* metalnim oklopima pojedine kritične dijelove (na primjer visokofrekventne transformatore i promjenljive kondenzatore) i pobrinuti se da ne dođe do *galvanske reakcije* (vidi odsjeke 74 i 75). I *štetni kapaciteti* igraju ovdje vrlo važnu ulogu, naročito kapacitet rešetka-anoda, što je i razumljivo kad se uzme u obzir da su frekvencije mnogo više nego kod niskofrekventnih pojačala. Upotrebom pentoda, koje kako je poznato imaju vrlo malen kapacitet anoda-rešetka, možemo izgraditi dobra visokofrekventna pojačala, koja će nam davati ne samo veliko pojačanje napona, nego će osim toga biti osigurana i od sklonosti k samooscilirανju, ukoliko ih pažljivo izgradimo. Konačno će praktička mogućnost naponskog pojačanja visokofrekventnog pojačala biti ograničena, kao i kod niskofrekventnih pojačala, *toplinskim šumom* i *efektom sačme* (vidi odsjeke 67 i 68). *Šum elektronki* uzrokovan ovim posljednjim efektom bit će u čitavom području visokih frekvencija od 150 kHz do 15 000 kHz (15 MHz) praktički jednako jak. Uz ove okolnosti može se u najpovoljnijem slučaju postići naponsko pojačanje od 50 000. Pribrojimo li k tome niskofrekventno pojačanje od 2 000, imamo kod prijemnika najveće naponsko pojačanje koje je jednako 50 000 · 2 000 = 100 000 000. Ovakva ogromna pojačanja mogu se postići na primjer modernim superima.

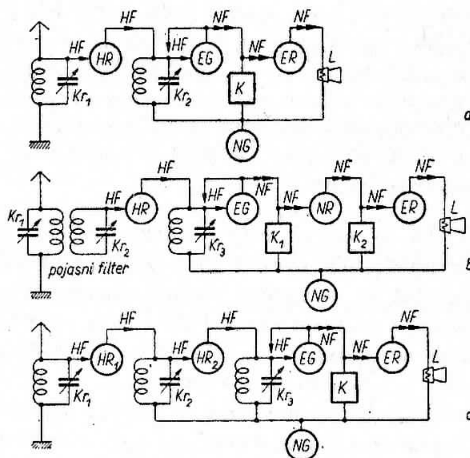
Ponavljanje

Ako je jakost polja nekog odašiljača na mjestu prijema malena moraju se signali koje želimo primati pojačati pred demodulatorom pomoću *visokofrekventnog pojačala*. Time se u znatnoj mjeri povećava osjetljivost i selektivnost prijemnika. Visokofrekventno pojačalo radi u biti jednako kao i niskofrekventno pojačalo, dakle kao pojačalo napona. Pojačavanje visokofrekventnih napona ima smisla samo onda ako je jakost signala na mjestu prijema veća od mjesnih napona smetnji. Broj stupnjeva visokofrekventnog pojačala ograničen je rasipnim vezama i štetnim kapacitetima. Pentode su zbog neznatnog kapaciteta anoda--rešetka naročito pogodne za upotrebu u visokofrekventnim pojačalima. Stvarno naponsko pojačanje visokofrekventnog pojačala ne može međutim ići po volji daleko zbog toplinskog šuma i efekta sačme kod elektronki.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može povećati doseg prijema prijemnika sa jednim titrajnim krugom? *Odgovor:* Tako da se ispred njega stavi jednostepeno ili višestepeno visokofrekventno pojačalo. — *P.:* Kako u biti djeluje visokofrekventno pojačalo? *O.:* Isto kao niskofrekventno pojačalo; ono je dakle naponsko pojačalo. — *P.:* Koje druge prednosti pruža upotreba visokofrekventnih pojačala? *O.:* Zbog povećanog broja titrajnih krugova povećava se i selektivnost prijemnika. — *P.:* Kada daljnje visokofrekventno pojačavanje nema smisla? *O.:* Kad su smetnje na mjestu prijema jače od signala koje želimo primati. — *P.:* Na što treba naročito paziti kod gradnje visokofrekventnih pojačala? *O.:* Magnetske i električke rasipne veze moraju se otkloniti metalnim oklopima, a galvanska reakcija zaporima za reakciju toliko smanjiti, da se samoosciliranje pojačala izbjegne. — *P.:* Zašto su pentode naročito pogodne za upotrebu u visokofrekventnim pojačalima? *O.:* Zato što imaju vrlo malen kapacitet anoda-rešetka i omogućuju veliko pojačanje. — *P.:* Čime je praktički ograničeno naponsko pojačanje visokofrekventnog pojačala? *O.:* Toplinskim šumom i efektom sačme elektronke.

194. — U odsjeku 185. i dalje upoznali smo se s najznačajnijim prijemnicima s jednim titrajnim krugom. Ovi prijemnici nemaju visokofrekventnog pojačavanja. Ako međutim pred ovakav prijemnik ukopčamo jedan ili više stupnjeva visokofrekventnog pojačala dobivamo *direktni prijemnik s više krugova* (vidi odsjeke 191 i 192). Temeljni spoj ovakvog prijemnika može imati više oblika, pa ćemo se ovdje upoznati samo s najvažnijim. Na sl. 145.-a vidimo osnovu načina gradnje *direktnog prijemnika sa dva titrajna kruga i četiri elektronke*. Tu se, a i dalje, ne radi o tačnoj shemi nego o shematskom nacrtu koji služi za razjašnjenje načina rada ovakvih prijemnika. Visokofrekventni titraji iz antene *HF* dolaze preko antenskog titrajnog kruga Kr_1 na uzbudnu rešetku elektronke *HR* koja vrši visokofrekventno pojačavanje. Odavde preko drugog titrajnog kruga (anodni titrajni krug) Kr_2 dolaze titraji na demodulator *EG*. Kao titrajni krugovi nacrtani su uvijek jednostavni zaporni krugovi, a u stvari su to redovito visokofrekventni transformatori. Demodulator radi s reakcijom na titrajni krug Kr_2 (pogledaj odvojni vod od *EG* označen sa *HF*). Niskofrekventni signali *NF* idu zatim preko člana za vezu *K* (niskofrekventni transformator ili spoj otpor-kapacitet) na poznati način k izlaznoj elektronki *ER* i konačno na zvučnik *L*.



Sl. 145.

Ispravljački dio radi kod priključka na mrežu izmjenične struje s ispravljačicom *NG*. U stvari imamo dakle ukupno četiri elektronke i dva ugođena kruga. Izlazna elektronka (pentoda) uzbuđuje se u ovom primjeru direktno signalima iz demodulatora. Posebnog stupnja niskofrekventnog pojačala u ovom slučaju nema. Kad bismo međutim za demodulaciju upotrebili diodu, morali bismo pred izlazni stupanj ukopčati bar jedan stupanj niskofrekventnog pojačala. Umjesto toga može se upotrebiti i višestruka elektronka, na primjer duodioda-trioda (vidi odsjek 169). Prijemnici slični opisanome omogućuje vrlo dobar prijem udaljenih jakih stanica i zbog toga se dosta često upotrebljavaju.

195. — Svojstva direktnog prijemnika s jednim jedinim stupnjem visokofrekventnog pojačala mogu se poboljšati ako se antenski titrajni krug izvede kao *pojasni filtar* (sl. 145-b; pogledaj i dio I, odsjek 221). U antenskom dijelu imamo tada *dva* ugođena kruga Kr_1 i Kr_2, pa dobivamo prijemnik sa *tri kruga* i s većom selektivnošću od one kod prijemnika sa dva kruga. U ovom primjeru imamo osim toga i poseban stupanj pojačala niske frekvencije s elektronkom *NR*. Niskofrekventni titraji *NF* dolaze preko člana za vezu K_1 na rešetku elektronke *NR* i nakon pojačavanja u njoj preko člana za vezu K_2 na uzbudnu rešetku izlazne elektronke *ER*. Ovakvim spojem, koji predstavlja *direktni prijemnik sa tri i pet elektronki*, moguće je do kraja uzbuditi ne samo pentodu, nego i triodu u izlaznom stupnju. Demodulator *EG* radi opet s reakcijom. Ako nemamo reakcije i ako se za *EG* uzme dioda neće naponsko pojačanje niskofrekventnog stupnja biti dovoljno za uzbuđenje jedne jače izlazne triode. Ako za visokofrekventno pojačanje upotrebimo pentodu AF 3, za demodulator pentodu AF 7, za niskofrekventno pojačavanje triodu AC 2, možemo za izlaznu elektronku uzeti triodu RE 614, odnosno LK 4110, a za ispravljačicu AZ 1. Na sl. 145.-b, kako smo rekli, prikazan je ovakav prijemnik izlazne snage 2,5 vata uz izobličenje od 5%.

196. — Na sl. 145.-a vidimo također *prijemnik sa tri kruga i pet elektronki*, ali je njegov način gradnje drugačiji od načina gradnje onoga sa sl. 145.-b. U ovom slučaju imamo *dva* stupnja visokofrekventnog pojačala s elektronkama HR_1 i HR_2, dok niskofrekventni dio odgovara onome sa slike 145.-a. Osjetljivost i selektivnost ovakvog prijemnika znatno je veća nego kod onoga sa sl. 145-b, iako oba imaju isti broj elektronki. Tome je razlog dvostruko visokofrekventno pojačavanje. Iako je u principu moguće graditi i veće direktne prijemnike sa t r i stupnja visokofrekventnog pojačala ili d v a stupnja niskofrekventnog pojačala, takvi se prijemnici više ne grade jer su ih potisnuli prijemnici koji rade na principu *superponiranja*. Potrebno je međutim napomenuti da se još uvijek vodi borba oko pitanja da li jedan v e l i k i prijemnik treba graditi kao direktni prijemnik ili na principu superponiranja. Veliki prijemnici grade se danas usprkos tome isključivo na principu superponiranja.

Ponavljanje

Ako pred demodulator u prijemniku ukopčamo jedan ili više stupnjeva visokofrekventnog pojačala dobivamo *direktni prijemnik s više krugova*. Najjednostavniji prijemnik ove vrsti za priključak na mrežu izmjenične struje je *direktni prijemnik sa dva kruga i četiri elektronke*. On se sastoji od visokofrekventnog stupnja s titrajnim krugom, demodulatora s titrajnim krugom i reakcijom, jednostavnog izlaznog stupnja i ispravljačkog dijela. Drugi način izvedbe ima visokofrekventno pojačalo s pojasnim filtrom u krugu rešetke, demodulator s titrajnim krugom i reakcijom, jedan stupanj pojačala niske frekvencije, izlazni stupanj i ispravljač. Najveći direktni prijemnici imaju d v a stupnja visokofrekventnog pojačala, dok se inače veći prijemnici grade na principu superponiranja.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je karakteristika direktnog prijemnika s više krugova? *Odgovor:* On ima najmanje jedan stupanj visokofrekventnog pojačala. — *P.:* Kako je u principu spojen najjednostavniji direktni prijemnik sa dva kruga za priključak na mrežu izmjenične struje? *O.:* Iza stupnja visokofrekventnog pojačala s titrajnim krugom slijedi demodulator s titrajnim krugom i reakcijom i izlazni stupanj; ispravljački dio ima ispravljačicu s jednotaktnim ili dvotaktnim ispravljanjem. — *P.:* Koliko dakle elektronki ima ovakav prijemnik sa dva kruga? *O.:* Ukupno četiri (direktni prijemnik sa dva kruga i četiri elektronke). — *P.:* Kako se ovakav prijemnik može na najjednostavniji način pretvoriti u prijemnik sa tri kruga i proširiti? *O.:* Tako da se krug rešetke visokofrekventnog pojačala izvede kao pojasni filtar i da mu se doda stupanj niskofrekventnog pojačala. — *P.:* Kako u biti radi ovakav prijemnik? *O.:* Visokofrekventni modulirani titraji iz antene dolaze preko pojasnog filtra na rešetku elektronke, koja radi kao visokofrekventno pojačalo, pa se onda pojačani dovode na demodulator koji također ima jedan titrajni krug i ovdje se demoduliraju. Demodulacijom dobiveni niskofrekventni titraji pojačavaju se u jednom stupnju niskofrekventnog pojačala i dovode na izlaznu elektronku. — *P.:* Ima li direktnih prijemnika s više stupnjeva visokofrekventnog pojačala? *O.:* I najveći direktni prijemnici izvode se samo sa dva stupnja visokofrekventnog pojačala; prijemnici s više stupnjeva praktički se ne izvode.

Pitanja

92. Čime se olakšava ugađanje direktnog prijemnika s više titrajnih krugova?

93. Zašto se veliko pojačanje većeg prijemnika ne može uvijek iskoristiti do kraja?

94. Kojoj grupi pripada prijemnik o kome je bilo govora na strani 186.?

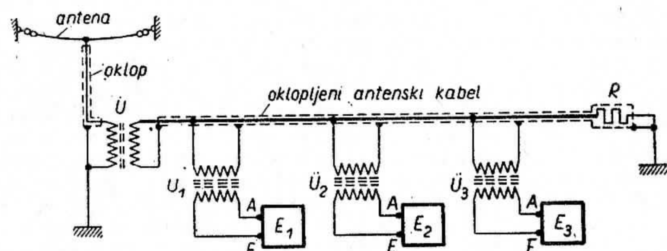
Zadaci

70. Na izlaznoj impedanciji prijemnika s više titrajnih krugova moramo imati napon od 100 V_{ef}. Koliki mora da bude napon na ulazu prijemnika ako je visokofrekventno pojačanje 10 000, a niskofrekventno 200?

71. Direktni prijemnik sa dva kruga i četiri elektronke ima osjetljivost od 25 μV_{ef}, što znači, da napon od 25 μV_{ef} na ulazu može dati izmjeničnu snagu od 50 mW na izlazu. Koliko je ukupno naponsko pojačanje prijemnika, ako je izlazni otpor na kojem se dobiva gornja snaga 4 kΩ?

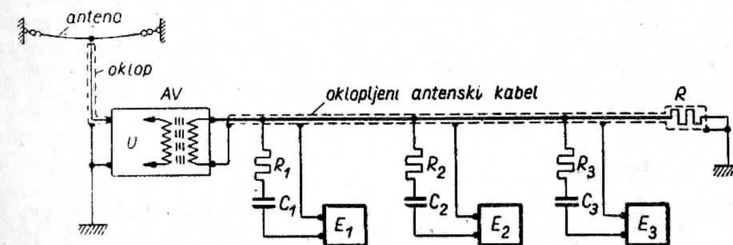
Aperiodsko visokofrekventno pojačalo

197. — Najjednostavnije visokofrekventno pojačalo je *aperiodsko visokofrekventno pojačalo*. Kako i naziv kaže takvo pojačalo *nije ugođeno*, nego treba da pojačava jednolično što širi pojas frekvencija, na primjer ukupno 1 350 kHz (što odgovora području od 200 do 2 000 m). Spoj jednog ovakvog pojačala sličan je u principu spoju niskofrekventnog otpornog pojačala, pa se i ovdje dakle radi o otpornom *pojačalu* (vidi odsjek 69). Kako se sada međutim radi o pojačanju *visokofrekvetnih* napona, štetni će kapaciteti (kapaciteti između elektroda i kapacitet spojeva — vidi odsjek 81 i sl. 59) određivati granicu pojačavanja. Ovo ćemo jasno vidjeti i iz slijedećeg primjera: Neka *štetni kapaciteti* u najpovoljnijem slučaju iznose samo $C_š$ = 30 pF, oni će kod frekvencije od 10 kHz pružati izmjeničnoj struji otpor oko 0,53 MΩ, kod frekvencije 150 kHz (λ = 2 000 m) otpor od oko 35 kΩ, kod 500 kHz (λ = 600 m) otpor od 11 kΩ, a kod 1 500 kHz (λ = 200 m) oko 3,5 kΩ. Kako ovi otpori leže otporu u anodnom krugu R_a paralelno, imat ćemo u najpovoljnijem slučaju u području duljih valova *aktivni* anodni otpor od nekih 10 kΩ. Pojačanje će prema tome, naročito u području srednjih valova, biti vrlo maleno. Kapacitet spojeva može se znatno smanjiti, ako se elementi za vezu zajedno sa sistemom elektronke ugrade u zajednički balon. Tako su na primjer prije bile građene višestruke *Loeweove elektronke*. Ovakve elektronke imale su u balonu osim sistema dviju elektronki i anodni otpornik R_a, kondenzator u krugu rešetke C_g i odvodni otpornik R_g, pa se je s njima još i kod frekvencije od 1 500 kHz (λ = 200 m) moglo postići ukupno osmerostruko pojačavanje.



Sl. 146.

198. — Iz gornjeg slijedi da će aperiodsko visokofrekventno pojačalo biti nepodesno za obične razglasne prijemnike. Ovakva se pojačala međutim, osim za mjerne svrhe, primjenjuju i kao *antenska pojačala* kod *zajedničkih antena* na velikim zgradama. Svrha ovih pojačala je, da se omogući uklanjanje velikog broja raznih antena s velikih stambenih kuća i zamjena s jednom visokom oklopljenom i zajedničkom antenom (vidi dio I, odsjeke 167 i 168), koja velikom broju prijemnika omogućuje prijem bez smetnji. Ako se na ovakvu zajedničku antenu ne priključi više od deset prijemnika istodobno, može uređaj biti i bez pojačala. Kako se na sl. 146. vidi visokofrekventni napon dolazi oklopljenim antenskim kabelom preko *antenskog transformatora Ü*. Transformatoru je svrha da prilagodi impedanciju antene na impedanciju kabela. Kako je impedancija kabela znatno manja od impedancije antene, transformirat će *transformator Ü* na niže (prijenosni odnos bit će na primjer ü = 10 : 1 — vidi odsjeke 4 i 89). Priključivanje pojedinih prijemnika E_1, E_2, E_3, ... vrši se preko transformatora $Ü_1$, $Ü_2$, $Ü_3$ itd. Kako je impedancija kabela znatno niža od ulazne impedancije prijemnika, ovi će transformatori morati transformirati na više (na primjer ü = 1 : 7). Čisti omski otpor *R* je za antenski oklopljeni kabel stalno završno opterećenje od 50 do 150 Ω. Pojedini prijemnici mogu se, kao i obično, ugoditi na bilo koji odašiljač, a da se pri tome međusobno ne smetaju, što znači



Sl. 147.

da se sa svakim prijemnikom može primati bilo koja stanica, isto kao da svaki ima svoju vlastitu antenu.

199. — Ako na zajedničku antenu mora raditi više od deset prijemnika mora se upotrebiti *antensko pojačalo* (AV na sl. 147). Signali svih mogućih odašiljača koji dođu do antene pojačavaju se zajednički u pojačalu, koje je najčešće izvedeno kao dvostepeno aperiodsko pojačalo. Pri tome je prvi stupanj pojačalo napona, a drugi maleno pojačalo snage. Na izlazu iz pojačala imamo onda visokofrekventnu energiju dovoljnu i za stotinu prijemnika. Pojačalo se redovito napaja iz rasvjetne mreže i smješteno je obično pod krovom. Ono je dobro oklopljeno, zaštićeno od prašine i sigurno od požara, i trajno je u pogonu. Područje od 200 do 2 000 m (a nekad i područje od 20 do 50 m) pojačava ono praktički jednolično. Manje pojačavanje na donjem području (vidi odsjek 197) otklanja se spojevima za korekciju. U izlaznom krugu pojačala nalazi se transformator *Ü* koji opet prilagođuje niski otpor kabela visokom unutarnjem otporu izlazne elektronke. Pojedini prijemnici priključuju se sada, da bi se smanjio utjecaj kabela na ugađanje prijemnika, preko »umjetne antene«, to jest preko serijskih spojeva kapaciteta C_1 = 200 pF i omskog otpora R_1 = 30 Ω. Iste vrijednosti imaju dakako i R_2—C_2, R_3—C_3 itd. Odašiljači koji bi smetali mogu se eliminirati filtrima,

čime se istodobno može ograničiti i područje prijema prema gore i prema dolje. Smetnje od naročito jakih odašiljača (lokalni telegrafski itd.) unutar područja prijema mogu se oslabiti ulaznim zapornim krugovima.

Ponavljanje

Spoj *aperiodskog visokofrekventnog pojačala* u biti je posve jednak spoju niskofrekventnog otpornog pojačala. Zbog djelovanja štetnih kapaciteta ne mogu se međutim ovakvim pojačalima postići velika pojačanja. Aperiodsko visokofrekventno pojačalo upotrebljava se najčešće kao *antensko pojačalo* za zajednički prijem u velikim kućama ili blokovima kuća. Naponi koji se dobivaju iz antene postavljene izvan područja smetnji dolaze u pojačalo i zajednički se pojačavaju, a onda se oklopljenim kabelom završenim s omskim otporom dovode prijemnicima. Na ovaj kabel priključuju se pojedini prijemnici preko posebnih priključnih elemenata u pojedinim stanovima. Ako se ne predviđa više od deset prijemnika, može se raditi i bez antenskog pojačala. Ovakvim uređajem dade se izbjeći šuma antena na velikim kućama i omogućuje se velikom broju prijemnika prijem bez smetnji. Odašiljači koji smetaju ili su prejaki mogu se ukloniti, odnosno oslabiti ugrađivanjem filtara i zapornih krugova u zajedničku antenu.

Pitanja i odgovori

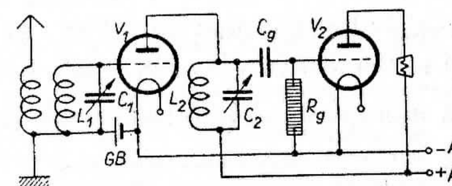
Pitanje: Što je aperiodsko visokofrekventno pojačalo? *Odgovor:* Pojačalo s otporima koji se ne mogu ugađati; ovo pojačalo mora što jednoličnije pojačavati što šire područje visokih frekvencija. — *P.:* Što je razlog da ovakvo pojačalo ima malen stupanj djelovanja? *O.:* Štetni kapaciteti koji smanjuju stupanj pojačanja, naročito kod viših frekvencija, dakle u području kraćih valova. — *P.:* Da li se aperiodska visokofrekventna pojačala još danas upotrebljavaju? *O.:* Da, i to kao antenska i mjerna pojačala. — *P.:* Čemu služi antensko pojačalo? *O.:* Za pojačavanje signala koje primi zajednička antena. — *P.:* Što je svrha ovakvog uređaja? *O.:* Omogućivanje zajedničkog prijema u velikim stambenim blokovima. — *P.:* Koje prednosti slijede iz toga? *O.:* Za veliki broj prijemnika dovoljna je jedna antena, pa ako je ona ispravno građena, ima taj veliki broj prijemnika prijem bez smetnji. — *P.:* Koliko se prijemnika može istodobno priključiti na ovakve zajedničke uređaje? *O.:* Stotinu i više, već prema vrijednosti antene i antenskog pojačala. — *P.:* Da li je antensko pojačalo neophodno potrebno? *O.:* Ono je potrebno samo onda, ako se radi o više od deset prijemnika; inače se može upotrebiti antenski uređaj s prilagodnim transformatorima.

Visokofrekventno pojačalo sa zapornim krugom

200. — Stupanj pojačanja visokofrekventnog pojačala može se znatno povećati, ako se pojačalo izvede tako da se može *ugađati.* To znači da u tom slučaju nećemo više imati jednolično pojačavanje širokog područja frekvencija kao kod aperiodskog pojačala, nego će se pojačavati određeni, na primjer 9 kHz široki pojas (vidi dio I, odsjek 203). Pojačalo se sada mora dati ugoditi na frekvenciju odašiljača koji želimo primati. To najlakše postizavamo tako da anodni otpor kod otpornog

pojačala zamijenimo *zapornim krugom* L_2—C_2 (sl. 148) koji se može ugađati. Tako dolazimo do visokofrekventnog pojačala sa *zapornim krugom.* Spoj sa slike 148 morao bi prema onome, što je rečeno prije, da bude bez daljnjega razumljiv. Ovdje se radi o pojednostavnjenoj shemi, u kojoj je sa V_1 označena elektronka koja vrši visokofrekventno pojačavanje, a sa V_2 demodulator.

202. — Zaporni krug sastoji se, kako je poznato, od paralelnog spoja kapaciteta i induktiviteta (vidi dio I, odsjek 102) i ima u slučaju rezonancije vrlo velik rezonantni otpor, koji se dade izračunati iz jednadžbe (56), dio I. Za frekvencije iznad i ispod rezonantne frekvencije predstavlja krug otpor koji je znatno manji od rezonantnog otpora. Kondenzatorom C_2 dade se zaporni krug *ugoditi* na frekvenciju dotičnog odašiljača. Ovaj zaporni krug u našem slučaju predstavlja anodni otpor elektronke V_1. Kako se upotrebom zavojnica s visokofrekventnom željeznom jezgrom i kondenzatora bez gubitaka dadu bez daljnjega postići otpori od nekoliko stotina kiloma, dat će visokofrekventno pojačalo s ovakvim krugom veliko naponsko pojačanje, a naročito ako se uz to upotrebe pentode ili elektronke sa zaslonskom rešetkom (tetrode). U tom slučaju dovoljan je jedan jedini stupanj visokofrekventnog pojačala pred demodulatorom, pa da se osigura prijem velikog broja stanica. Kako se zaporni krug mora ugoditi na svaku stanicu, imat ćemo i dovoljnu *selektivnost* (vidi dio I, odsjeke 205 i 206)». Selektivnost se može primjenom *reakcije* znatno poboljšati (vidi odsjek 179).



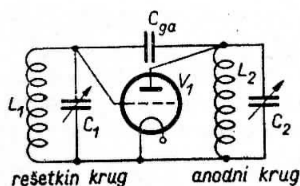
Sl. 148.

202. — Daljnja prednost pojačala sa zapornim krugom pred aperiodskim pojačalom je u tome što štetni kapacitet kod njega n e d o l a z i do izražaja. Kapacitet elektronke i kapaciteti spojeva leže paralelno kapacitetu C_2 kojim se vrši ugađanje, pa se jednostavno ovome kapacitetu pribrajaju (vidi odsjeke 81 i 86, te sl. 63). Zbog toga će doći samo do pomicanja područja ugađanja prema dugim valovima, na što treba pripaziti pri istodobnom ugađanju više krugova pomoću višestrukih kondenzatora. Neugodno može biti djelovanje kapaciteta rešetka-anoda C_{ga} elektronke V_1. Ako je naime kapacitet ove elektronke prevelik može doći do samooscilacija. Kako je kod *elektronki sa zapornom rešetkom* ovaj kapacitet vrlo malen (vidi odsjek 193), kod njih je opasnost od samooscilacija skoro isključena. Sklonost samooscilacijama dade se objasniti činjenicom da kapacitet C_{ga} elektronke V_1 unosi pozitivnu reakciju[40]) kruga *anode* L_2—C_2 na krug rešetke L_1—C_1 (sl. 149). Ovakav

[40]) Uslijed kapaciteta anoda-rešetka nastaje fazni pomak od 180° napona prenesenog na rešetku prema anodnom naponu, a time je ispunjen uvjet za samouzbuđenje (vidi odsjek 172).

se spoj kod gradnje odašiljača štaviše iskorišćuje i poznat je pod imenom *»Huth-Kühnov oscilatorski spoj«*.

203. — Dobrota i oštrina rezonancije titrajnog kruga ovisna je o otporu gubitaka R_p, koji možemo smatrati da je spojen p a r a l e l n o titrajnom krugu (vidi dio I, sl. 83 i odsjek 111). Pri tome moramo paziti i na činjenicu da se k ovome paralelno dodaje i unutarnji otpor R_i elektronke V_1, odvodni otpor u rešetki R_g i otpor rešetka-katoda R_{gi} elektronke V_2. Kako su međutim R_g i R_{gi} većinom znatno veći od R_i, možemo uzeti u obzir samo R_i[41]. Aktivni paralelni otpor sastavljen je od R_p i R_i: $R = R_p \cdot R_i/(R_p + R_i)$. U slučaju paralelne rezonancije rezonantni otpor zapornog kruga (paralelni spoj L_2, C_2 i R) jednak je R (vidi dio I, odsjek 111). Ako vrijednost za R stavimo u jedn. (60) iz dijela I, dobivamo za *efektivnu oštricu rezonancije* izraz: $\varrho_{ef} = \frac{R_p \cdot R_i}{R_p + R_i} \sqrt{\frac{C}{L}}$



Sl. 149.

ili

$$\varrho_{ef} = \varrho \cdot \frac{R_i}{R_p + R_i} \quad \text{(za paralelnu rezonanciju)} \qquad (66)$$

Iz ove jednadžbe vidimo da paralelni otpor gubitaka R_p mora da bude *manji* od unutarnjeg otpora R_i, ako efektivna oštrina rezonancije mora da bude što bliže najvećoj oštrini rezonancije ϱ. U protivnom slučaju dolazi do slabijeg ili jačeg *»pseudoprigušenja«* zapornog kruga[42], dakle i do smanjenja selektivnosti. Ova se mana ne može otkloniti čak ni reakcijom. Zahtjev da R_p bude manje od R_i ($R_p < R_i$) u protivurječnosti je međutim s uvjetom za što veće naponsko pojačanje. Ako se upotrebi pentoda nije situacija tako loša, jer ovakve elektronke daju već same po sebi znatno naponsko pojačanje. Vidimo dakle da paralelni otpor gubitaka zapornog kruga ne smije biti unutarnjem otporu prilagođen nego *»podprilagođen«* (vidi odsjek 123). Dalje odavle slijedi da su pentode zbog svog velikog unutarnjeg otpora naročito prikladne. Kod trioda zbog malenog unutarnjeg otpora dolazi do izražaja »pseudoprigušenje« zapornog kruga i odatle smanjenje selektivnosti.

---

[41]) Jedino kod audiona (ispravljanje rešetkom) je R_{gi} zbog struje rešetke znatno manji od 100 kΩ, pa se onda ne može zanemariti (veliko prigušenje zapornog kruga!).

[42]) »Pseudoprigušenje«, jer nije uzrokovano samim zapornim krugom, nego unutarnjim otporom R_i.

Ponavljanje

Ako omski otpor otpornog pojačala zamijenimo zapornim krugom nastaje visokofrekventno pojačalo sa *zapornim krugom.* Zaporni krug dade se ugoditi na željenu frekvenciju. Ovakvim spojem može se postići mnogo veće pojačanje, jer zaporni krug ima vrlo velik rezonantni otpor. Sa zapornim krugom dobiva prijemnik i potrebnu selektivnost. Štetni kapaciteti nisu u ovom slučaju od naročite važnosti, jer se jednostavno pribrajaju kapacitetu zapornog kruga. Kapacitet anoda-rešetka elektronke, koja služi kao pojačalo, može međutim uzrokovati samooscilacije, što se dade izbjeći upotrebom pentoda. Zaporni krug prigušuje se ne samo vlastitim paralelnim otporom gubitaka R_p, nego i unutarnjim otporom R_i elektronke (»pseudoprigušenje«). Uslijed toga je efektivna oštrina rezonancije ϱ_{ef} m a n j a od oštrine rezonancije ϱ samog zapornog kruga. Ako se R_p odabere manje od R_i *(podprilagođenje)* možemo kod pentode imati dovoljno veliku selektivnost i relativno veliko pojačanje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U čemu se razlikuje visokofrekventno pojačalo sa zapornim krugom od aperiodskog visokofrekventnog pojačala? *Odgovor:* Umjesto omskog otpora nalazi se u anodnom krugu zaporni krug. — *P.:* Kakve su prednosti ovakvog pojačala? *O.:* Zbog velikog rezonantnog otpora zapornog kruga imamo veliko pojačanje i dovoljno veliku selektivnost. — *P.:* Kakvo djelovanje imaju štetni kapaciteti kod visokofrekventnog pojačala sa zapornim krugom? *O.:* Štetni kapaciteti povećavaju samo kapacitet titrajnog kruga, pa prema tome pomiču njegovo radno područje prema duljim valovima; kapacitet anoda-rešetka može međutim dovesti do samouzbuđenja elektronke koja vrši pojačanje. — *P.:* Čime se opasnost od samouzbuđenja može smanjiti? *O.:* Upotrebom elektronki sa zaslonskom rešetkom koje imaju malen kapacitet anoda-rešetka. — *P.:* Što razumijevamo pod efektivnom oštrinom rezonancije? *O.:* Oštrinu rezonancije, koju dobivamo uzimajući u obzir činjenicu da je zaporni krug prigušen ne samo svojim vlastitim otporom gubitaka, nego i unutarnjim otporom elektronke, koji je spojen paralelno tome krugu. — *P.:* Koji uvjet mora da bude ispunjen s obzirom na što veću selektivnost? *O.:* Paralelni otpor gubitaka zapornog kruga mora da bude manji od unutarnjeg otpora elektronke. — *P.:* Koje su loše posljedice ovog uvjeta? *O.:* Nemogućnost potpunog iskorišćenja naponskog pojačanja elektronke — *P.:* Kako se može ukloniti ova mana? *O.:* Upotrebom pentoda s velikim unutarnjim otporom.

Pitanja

95. U čemu je aperiodsko visokofrekventno pojačalo slično djelovanjem otpornom niskofrekventnom pojačalu?
96. Zašto može kapacitet anoda-rešetka dovesti do samouzbuđenja kod pojačala?
97. Koje su prednosti upotrebe pentoda u ugođenim visokofrekventnim pojačalima?

Zadaci

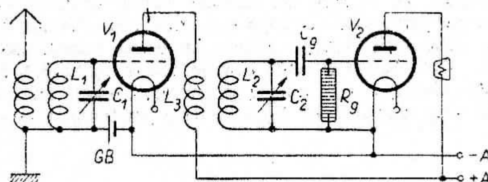
72. Prikaži dijagramom ovisnost odnosa efektivne oštrine rezonancije prema najvećoj oštrini rezonancije o odnosu paralelnog otpora gubitaka prema unutarnjem otporu elektronke i rastumači tok dobivene krivulje!
73. U anodnom krugu jednog stupnja visokofrekventnog pojačala nalazi se zaporni krug kapaciteta od 360 pF ugođen na 800 kHz, a njegov

paralelni otpor gubitaka je 200 kΩ. Za elektronku upotrebljena je pentoda s unutarnjim otporom $R_i = 2\,M\Omega$ i statičkom strminom 2,1 mA/V. Koliki je: a) efektivni rezonantni otpor zapornog kruga, b) efektivna oštrina rezonancije, c) naponsko pojačanje?

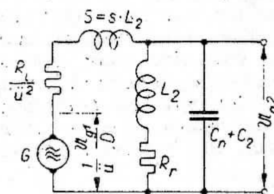
Visokofrekventno pojačalo s transformatorskom vezom

204. — U odsjeku 203. vidjeli smo da je zaporni krug ugođenog visokofrekventnog pojačala prigušen unutarnjim otporom elektronke (»pseudoprigušenje«). Kako s obzirom na dovoljno veliku selektivnost paralelni otpor gubitaka mora da bude *manji* od unutarnjeg otpora, ne može se naponsko pojačanje elektronke dovoljno iskoristiti. Ova mana naročito je velika kod trioda s obzirom na njihov malen unutarnji otpor. Tome se međutim može doskočiti ako se upotrebi *visokofrekventni transformator*, pomoću kojega se prikladnim omjerom prijenosa $ü$ može unutarnji otpor R_i prilagoditi rezonantnom otporu $\mathfrak{R}_0$ zapornog kruga. Na taj način dobivamo visokofrekventno pojačalo s *transformatorskom vezom* (sl. 150). Visokofrekventni transformator sastoji se od ulazne zavojnice L_3 u anodnom krugu i izlazne zavojnice L_2. Praktički izvedene ovakve transformatore vidjeli smo već na sl. 166. i 167. i dijelu I.

205. — Djelovanje visokofrekventnog transformatora može se najbolje vidjeti iz nadomjesnog spoja na sl. 151. Za razliku od sl. 75. sad su, budući da je to prikladnije, sve vrijednosti reducirane na izlazni krug transformatora. Na slici L_2 označuje induktivitet izlaznog namotaja, R_r serijski otpor gubitaka zapornog kruga $L_2—C_2$, $S = s \cdot L_2$ ukupni rasipni



Sl. 150.



Sl. 151.

induktivitet izlaznog kruga transformatora[43]), C_2 sumu svih paralelnih kapaciteta (vidi odsjek 94) i kapaciteta za ugađanje. Unutarnji otpor R_i djeluje prema jedn. (39) u izlaznom krugu kao omski otpor $R/ü^2$, a izmjenični napon praznog hoda $\mathfrak{U}_{g1}/D$ elektronke V_1 (vidi odsjek 55) prema jedn. (3) kao izmjenični napon $\mathfrak{U}_{g1}/(ü \cdot D)$. Ako je $\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_o =$

[43]) Prema jedn. (46) i odsjeku 98. imamo naime: $S = (S_1/ü^2) + S_2$, dakle prema jedn. (44), (45) i (43): $S = (1 - k) \cdot L_1/ü^2 + (1 - k) \cdot L_2 = (1 - k) \cdot (L_1/ü^2 + L_2) = (1 - k) \cdot (L_2 + L_2) = 2 \cdot (1 - k) \cdot L_2$, a dalje prema jedn. (47): $S = s \cdot L_2$.

$= L_2/(C_2 \cdot R_r)$ (vidio dio I, jedn. 56) rezonantni otpor kruga $L_2 — C_2$ imamo iz jedn. (37) i (26): $V_u = \mathfrak{U}_{g2}/\mathfrak{U}_{g1} = \mathfrak{U}_a/(ü \cdot \mathfrak{U}_{g1}) = \frac{1}{ü\,D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_0}{\frac{R_i}{ü^2} + \mathfrak{R}_0}$

ili:

$$V_u = \frac{1}{ü \cdot D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{ü^2 \cdot \mathfrak{R}_0}} \quad \ldots \ldots (67)$$

Naponsko pojačanje je u slučaju otpornog prilagođenja, dakle za $R_i/ü^2 = \mathfrak{R}_0$, maksimalno: $V_{um} = [1/(ü_0 \cdot D)] \cdot [1/(1 + 1)]$, to jest $V_{um} = 1/(2ü_0 \cdot D)$. Za ovaj slučaj najpovoljniji omjer prijenosa transformatora je:

$$ü_0 = \sqrt{\frac{R_i}{\mathfrak{R}_0}} \quad \ldots \ldots (68)$$

Ako nam nije zadan serijski nego paralelni otpor gubitaka R_p zapornog kruga, moramo u jedn. (67) i (68) uvrstiti $\mathfrak{R}_0 = R_p$ (vidi dio I, odsjek 111). Konačno imamo za paralelnu rezonanciju efektivnu oštrinu rezonancije prema jedn. (66): $\varrho_{ef} = \varrho \cdot \frac{\frac{R_i}{ü^2}}{R_p + \frac{R_i}{ü^2}}$

ili nakon proširenja sa $ü^2/R_i$:

$$\varrho_{ef} = \varrho \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_p \cdot ü^2}{R_i}} \quad \text{(za paralelnu rezonanciju)} \quad . \ (69)$$

Za $ü = 1$ prelazi ova jednadžba opet u jedn. (66).

206. — Za slučaj otpornog prilagođenja $\mathfrak{R}_0$ odnosno $R_p = R_i/ü^2$, naponsko pojačanje je najveće, ali je efektivna oštrina rezonancije prema jedn. (69) samo $\varrho_{ef} = \varrho/2$. Odaberemo li $ü$ nešto manjim od $ü_0$ (manji broj zavoja na ulaznoj zavojnici), bit će efektivna oštrina rezonancije veća, ali naponsko pojačanje manje. Što je manji $ü$, to je slabija veza visokofrekventnog transformatora. Obrnuto, velika vrijednost za $ü$ (veći broj zavoja na ulaznoj zavojnici) predstavlja istodobno i čvrstu vezu čime se postizava veće naponsko pojačanje uz razmjerno manju oštrinu rezonancije. Selektivnost se može i ovdje, kao i kod veze sa zapornim krugom (odsjek 201), poboljšati uvođenjem reakcije kojom se smanjuje prigušenje kruga $L_2—C_2$.

Ponavljanje

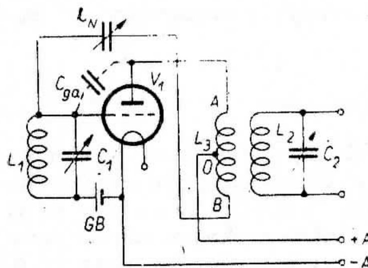
Kod visokofrekventnog pojačala s *transformatorskom vezom* imamo u anodnom krugu elektrone, koja vrši pojačavanje, visokofrekventni transformator za prilagođenje unutarnjeg otpora R_i elektronke rezonantnom otporu $\mathfrak{R}_0$ izlaznog kruga transformatora, koji se dade ugađati

(zaporni krug). Time se »pseudoprigušenje« titrajnog kruga može znatno smanjiti. Djelovanje pojačala s visokofrekventnom transformatorskom vezom može se lako razumjeti iz nadomjesnog spoja. Naponsko pojačanje kod otpornog prilagođenja ($\mathfrak{R}_0 = R_i/ü^2$) je najveće, a pri tome oštrina rezonancije iznosi samo pola najveće moguće oštrine. Što je manji prijenosni odnos *ü* visokofrekventnog transformatora, to veća je efektivna oštrina rezonancije, ali je istodobno to manje i naponsko pojačanje. Mala vrijednost za *ü* predstavlja slabu vezu, a velika čvrstu vezu obiju zavojnica visokofrekventnog transformatora.

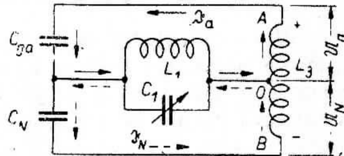
Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakve su prednosti visokofrekventnog pojačala s transformatorom pred onim sa zapornim krugom? *Odgovor:* Visokofrekventni transformator omogućuje kod povoljnog izbora prijenosnog odnosa prilagođenje unutarnjeg otpora elektronke visokom rezonantnom otporu izlaznog kruga transformatora. Time se znatno može smanjiti »pseudoprigušenje« običnog zapornog kruga. — *P.:* Kada imamo najveće naponsko pojačanje? *O.:* U slučaju otpornog prilagođenja; rezonantni otpor zapornog kruga mora da bude jednak unutarnjem otporu elektronke pojačala prenesenom na ovaj krug. — *P.:* Kakve su mane ovakvog prilagođenja? *O.:* Efektivna oštrina rezonancije je samo polovina najveće moguće oštrine. — *P.:* Kako se može efektivna oštrina rezonancije povećati? *O.:* Manjim omjerom prijenosa transformatora, dakle slabijom vezom zavojnica transformatora, odnosno upotrebom reakcije.

207. — Kako već iz odsjeka 202. znamo, može kapacitet anoda-rešetka C_{ag} dovesti do samouzbuđenja pojačala. Ova pojava, koja naročito lako nastaje kod trioda, može se spriječiti *neutralizacijom* štetnih reakcionih izmjeničnih napona pomoću isto tolikih pomoćnih napona koji su sa štetnim u protufazi. Ima raznih *neutrodinskih spojeva,* od kojih se najčešće upotrebljavani vidi na sl. 152. Ulazna zavojnica L_3



Sl. 152.

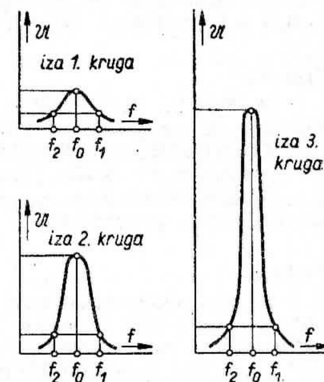


Sl. 153.

u anodnom krugu elektronke pojačala ima, za razliku od one na sl. 150., dodatni namotaj *OB*. Kako je tačka *O* vezana s plus-polom $+A$ anodne baterije, ona je, gledana sa strane izmjenične struje, nul-tačka pojačala. Između krajeva *A* i *B* imamo izmjenični napon. Ako dakle u nekom momentu tačka *A* ima pozitivan napon prema tački *O*, tačka *B* ima negativan napon. Između tačaka *A* i *O* imamo anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$, a između *O* i *B* pomoćni izmjenični napon $\mathfrak{U}_N$. Oba ova napona su *protufazna*. Pomoćni napon dovodi se preko promjenljivog

kondenzatora C_N (»neutrodon«) s kapacitetom od nekoliko pF na rešetku elektronke V_1. S druge strane dobiva ta rešetka protufazni izmjenični napon preko kapiciteta C_{ga}. Kako se vidi iz nadomjesnog spoja na sl. 153. uzrokuje izmjenični anodni napon $\mathfrak{U}_a$ preko kapaciteta C_{ga} izmjeničnu struju $\mathfrak{J}_a$ (izvučena strelica), a pomoćni napon $\mathfrak{U}_N$ preko kapaciteta C_N *protufaznu struju* $\mathfrak{J}_N$ (crtkana strelica). Obje ove struje protječu kroz krug rešetke L_1—C_1 u protivnom smjeru. Ako je $C_N = C_{ga}$, a $\mathfrak{U}_N = \mathfrak{U}_a$, onda je i $\mathfrak{J}_N = \mathfrak{J}_a$, to jest djelovanje obiju struja u krugu rešetke poništava se, pa do samouzbuđenja ne može doći. Da bi bio $\mathfrak{U}_N = \mathfrak{U}_a$, mora odvojak ulazne zavojnice L_3 da bude tačno u sredini. Ako to nije slučaj, onda mora vrijediti relacija $C_N : C_{ga} = \mathfrak{U}_a : \mathfrak{U}_N$, to jest kapaciteti se odnose obrnuto kao izmjenični naponi. Neutrodon C_N moramo postaviti uvijek tako da bude $\mathfrak{J}_N = \mathfrak{J}_a$. Pri tome treba paziti da kapacitet dovoda ne bude prevelik, jer se inače neutrodon ne da namjestiti na potrebnu malenu vrijednost. Kako je upotrebom *pentoda* posebna neutralizacija postala suvišna, zadovoljit ćemo se opisom ovog jednog spoja za neutralizaciju (anodna neutralizacija). Danas se neutralizacija upotrebljava samo još u pojačalima odašiljača (naročito kod kratkih valova).

208. — Iako je *selektivnost* direktnog prijemnika sa dva kruga prema sl. 150. već razmjerno velika, ipak ona nije ni izdaleka dovoljna da bi dopustila nesmetano odijeljeno primanje dviju susjednih jakih stanica (vidi dio I, sl. 151). Direktni prijemnik sa tri kruga, dva stupnja visokofrekventnog pojačala i demodulatorom s reakcijom (vidi sl. 145.-c) daje već željenu selektivnost. Reprodukcija tonskih frekvencija bit će međutim prema današnjim zahtjevima prilično skromna. Tome će biti uzrok šiljasta krivulja rezonancije, kod koje su bočni pojasevi oštro odsječeni. Zbog toga dolazi do zapostavljanja viših tonova (vidi dio I, odsjek 207). Na sl. 154. vidimo primjer kako krivulja rezonancije jednog starijeg direktnog prijemnika sa tri kruga od stupnja do stupnja postaje sve šiljastija i viša. Dok je nakon prvog ugođenog kruga između napona, koji odgovara gornjim, odnosno donjim bočnim frekvencijama, i napona prijenosne frekvencije (f_1, f_2 i f_0) razlika malena, što znači da su visoki tonovi još prilično dobro prenošeni, nakon drugog kruga je napon, koji odgovara bočnim frekvencijama, znatno manji od onoga koji odgovara prijenosnoj frekvenciji. Iza trećeg stupnja je odnos između tih napona već takav da su visoke tonske frekvencije znatno potisnute, iako je selektivnost vrlo velika. O protivurječju sa zahtjevima između maksimalne selektivnosti i vjernosti reprodukcije go-



Sl. 154.

vorili smo već u dijelu I, odsjecima 207. do 209. Tada smo već vidjeli da savršena krivulja rezonancije mora da ima oblik pravokutnika. Ovaj zahtjev može se ispuniti samo upotrebom *pojasnih filtara* umjesto jednostavnih titrajnih krugova.

Ponavljanje

Samouzbuđenje visokofrekventnih pojačala može se spriječiti tako da se napon, koji se kao reakcioni napon preko kapaciteta anoda-rešetka prenosi na rešetku, neutralizira protufaznim pomoćnim izmjeničnim naponom. U najčešćim *neutrodinskim spojevima* uzima se ovaj pomoćni napon s kraja ulazne zavojnice visokofrekventnog transformatora i dovodi preko malenog promjenljivog kondenzatora *(neutrodon)* na rešetku. Kako pentode imaju vrlo malen kapacitet anoda-rešetka kod njih je neutralizacija suvišna. Selektivnost direktnog prijemnika sa dva kruga i j e d n i m stupnjem visokofrekventnog pojačala nije dovoljna za prijem u blizini lokalne stanice. Direktni prijemnik sa tri kruga i d v a stupnja visokofrekventnog pojačala ima već dovoljno veliku selektivnost. No vjernost reprodukcije ovakvog prijemnika ne zadovoljava, jer je krivulja rezonancije iza trećeg titrajnog kruga suviše šiljasta, pa su više tonske frekvencije potisnute. Ova mana može se u velikoj mjeri otkloniti upotrebom *pojasnih filtara.*

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto trioda upotrebljena kao visokofrekventno pojačalo dolazi mnogo lakše u oscilacije nego pentoda? *Odgovor:* Trioda ima znatno veći kapacitet anoda-rešetka nego pentoda. — *P.:* Kako se samooscilacije mogu spriječiti? *O.:* Neutralizacijom reakcionog napona pomoćnim protufaznim izmjeničnim naponom. — *P.:* Kako se nazivaju spojevi visokofrekventnih pojačala koji rade s neutralizacijom? *O.:* Neutrodinski spojevi. — *P.:* Kakav smo neutrodinski spoj upoznali? *O.:* Spoj kod kojeg se pomoćni napon uzima s kraja ulazne zavojnice visokofrekventnog transformatora i dovodi na rešetku preko neutrodona. — *P.:* Što su prednosti, a što mane šiljaste krivulje rezonancije kod prijemnika? *O.:* Velika selektivnost, ali i zapostavljanje viših frekvencija bočnih pojaseva, te uslijed toga lošija reprodukcija. — *P.:* Kako se može kvaliteta reprodukcije poboljšati? *O.:* Upotrebom pojasnih filtara.

Pitanja

98. Nacrtaj principijelnu shemu jednog stupnja visokofrekventnog pojačala sa zapornim krugom i visokofrekventnim transformatorom, i označi priključak demodulatora!

99. Što je neutrodin i kakva on svojstva mora da ima?

100. Što je razlog, da se neutrodinski spojevi više ne primjenjuju prilikom gradnje prijemnika?

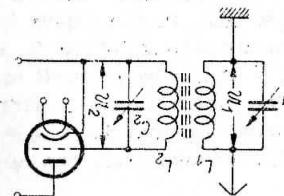
Zadaci

74. U visokofrekventnom pojačalu radi pentoda s faktorom pojačanja 4 000 i unutarnjim otporom 2 MΩ. U anodnom krugu imamo visokofrekventni transformator, kojeg strana koja se dade ugađati ima induktivitet 0,15 mH, kapacitet 200 pF i paralelni otpor gubitaka 100 kΩ. Koliki su: a) omjer prijenosa visokofrekventnog transformatora za najveće naponsko pojačanje, b) najveće naponsko pojačanje, c) efektivna oštrina rezonancije, d) maksimalna oštrina rezonancije i kolike vrijednosti poprima, e) naponsko pojačanje, f) efektivna oštrina rezonancije, ako se omjer prijenosa uzme dva puta manji?

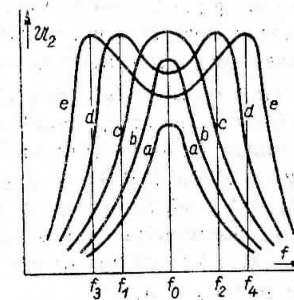
75. Koliko je pod inače istim okolnostima kao u zadatku 74. naponsko pojačanje i efektivna oštrina rezonancije kod jednostavne veze sa zapornim krugom?

Pojasni filtar

209. — Prijemnik ima uz dovoljno veliku selektivnost zadovoljavajuću kvalitetu reprodukcije onda, ako krivulja rezonancije ima pojasnu širinu od 9 kHz i što veću strminu bokova. O tome smo opširno govorili u dijelu I, odsjecima 207. do 209, te 221, i u dijelu II, odsjeku 208. Krivulja rezonancije mora da ima oblik što sličniji pravokutniku. Taj se zahtjev može u velikoj mjeri ispuniti upotrebom pojasnog filtra. Pojasni filtar sastoji se u najjednostavnijem slučaju od dva međusobno vezana titrajna kruga ugođena na istu frekvenciju. Razni načini vezanja spomenuti su već u dijelu I, sl. 160. Sad ćemo najprije pogledati prilike kod *induktivno vezanog pojasnog filtra* (sl. 155). Ako je veza između titrajnih krugova L_1—C_1 i L_2—C_2 v r l o s l a b a, ako su dakle zavojnice L_1 i L_2 međusobno dosta udaljene, onda je napon $\mathfrak{U}_2$ prenesen na drugi krug neznatan i



Sl. 155.



Sl. 156.

postizava u slučaju rezonancije svoju maksimalnu vrijednost. U tome slučaju imamo krivulju rezonancije kao *a* na sl. 156. Kad je veza n e š t o č v r š ć a, krivulja rezonancije je uglavnom ista, samo je sada amplituda veća. Kod j o š č v r š ć e veze ne postaje krivulja rezonancije viša, nego šira. U ovom graničnom slučaju govorimo o *kritičnoj vezi* titrajnih krugova (*c* na sl. 156). Kod daljnjeg pojačavanja veze dobiva krivulja rezonancije u sredini sedlo (*d* na sl. 156), i to baš na onom mjestu, za koje se frekvencija vanjskog privedenog napona $\mathfrak{U}_1$ slaže s vlastitom frekvencijom krugova, kad n i s u vezani. Sedlo postaje sve d u b l j e porastom stupnja veze, pa dolazi do zapostavljanja n i ž i h tonskih frekvencija. Kod v r l o č v r s t e veze međusobno se udaljuju vrhovi krivulje rezonancije, a da pri tome ne mijenjaju svoju visinu (krivulja *e* na sl. 156).

210. — Uz pretpostavku koja je kod pojasnih filtara sama po sebi razumljiva, da su oba titrajna kruga ugođena na istu frekvenciju, imamo kod vrlo slabe veze ($k \approx 0$) rezonanciju kod samo jedne frekvencije f_0, koja je jednaka vlastitoj frekvenciji obaju krugova. Što je međutim veza

između krugova čvršća, to jače se vlastita frekvencija gubi. Ako je veza čvršća od kritične, imamo u svakom krugu *dvije vezne frekvencije* f_1 i f_2, odnosno f_3 i f_4, koje leže simetrično prvotnoj frekvenciji f_0, što znači da krivulja rezonancije dobiva dva prije spomenuta vrha. Ovu činjenicu razmotrili smo već u dijelu I, odsjek 217. Prema jedn. (84) iz istog dijela možemo lako izračunati i vezne frekvencije. *Natkritična veza* (k veće nego kod kritične veze) daje mogućnost da izvedemo pojasni filtar koji ima krivulju sličnu pravokutniku (vidi dio I, odsjek 221). Kako pokazuju mjerenja, imamo za slučaj *kritične veze* stupanj veze jednak recipročnoj vrijednosti efektivne oštrine rezonancije pojasnog filtra.

$$\boxed{k = \frac{1}{\varrho_{ef}}} \quad \text{(kritični stupanj veze)} \quad . \ . \ . \quad (70)$$

Prema tome imamo ove mogućnosti: $k \cdot \varrho_{ef} < 1$ = *potkritična veza* (krivulje *a* i *b* na sl. 156), $k \cdot \varrho_{ef} = 1$ = *kritična veza* (krivulja *c* na sl. 156) i $k \cdot \varrho_{ef} > 1$ = *natkritična veza* (krivulje *d* i *e* na sl. 156). U većini slučajeva računat ćemo s kritičnom vezom. Ako oba titrajna kruga nisu jednako prigušena, moramo za ϱ_{ef} uvrstiti s r e d n j u efektivnu oštrinu rezonancije $\varrho_{ef} = \sqrt{\varrho_{1ef} \cdot \varrho_{2ef}}$, ako su ϱ_{1ef} i ϱ_{2ef} efektivne oštrine rezonancije svakog kruga posebno (vidi odsjek 203). Prema dijelu I, jedn. (22) faktor gubitaka zavojnice sa serijskim otporom gubitaka R_r jednak je $tg\,\delta = R_r/(\omega L)$. Kako je $tg\,\varrho$ uvijek vrlo malen, može se uzeti $tg\,\delta = \delta$, pa je $1/\delta = \omega L/R_r$. Ovaj je izraz međutim prema dijelu I, jedn. (55) oštrina rezonancije kod serijske rezonancije. Imamo dakle $\varrho = 1/\delta = \omega_0 L/R_r$. Ako su oba kruga pojasnog filtra jednako prigušena ($\varrho_1 = \varrho_2$) onda je i $\mathfrak{U}_1 = \mathfrak{U}_2$.

211. — Ako se pojasni filtar nalazi u anodnom krugu elektronke koja vrši visokofrekventno pojačavanje, onda je efektivna impedancija $\mathfrak{R}_{aef}$ anodnog kruga različita od rezonantnog otpora $\mathfrak{R}_0$ pojasnog filtra. Drugi krug L_2—C_2 filtra djeluje naime povratno na prvi krug L_1—C_1 i povećava prvotno prigušenje prvog kruga. Ovo povećanje prigušenja iznosi prema dijelu I, odsjek 220. za slučaj da je $L_1 = L_2$ i da imamo rezonanciju: $R_k = \omega_0^2 \cdot k^2 \cdot L_1^2/R_r$, gdje je R_r serijski otpor gubitaka. Ako postavimo da je $\varrho = \omega_0 L_1/R_r$, imamo kod kritične veze (jedn. 70.) i vrlo velikog unutarnjeg otpora elektronke (pentoda): $R_k = \varrho \cdot \omega_0 \cdot L_1/\varrho^2 = \omega_0 L_1/\varrho = R_r$. Odavle je ukupni otpor prigušenja pojasnog filtra s dva kruga kod kritične veze *dva puta* toliki kao kod jednog jedinog kruga. Prema dijelu I, jedn. (56) dobivamo za efektivni rezonantni otpor prvog kruga pojasnog filtra: $\mathfrak{R}_{oef} = L_1/[C_1(R_r + R_r)] = L_1/(2C_1 R_r) = \mathfrak{R}_0/2$, to jest samo p o l o v i n u vrijednosti od one kod jednog titrajnog kruga. Oba titrajna kruga bit će međutim prigušena i paralelnim otporima. Kod prvog se to događa uslijed unutarnjeg otpora elektronke, odnosno antene, a kod drugog uslijed ulaznog kruga slijedeće elektronke. Moramo dakle za $\mathfrak{R}_0$ staviti uvijek vrijednost $\mathfrak{R}_{aef}$, koja rezultira iz p a r a l e l n o g s p a j a n j a otpora $\mathfrak{R}_0$ i paralelnog prigušnog otpora. Kod nejednakog prigušenja paralelnim otporima obaju titrajnih krugova mora se računati sa s r e d n j i m otporom za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}_{aef} = \sqrt{\mathfrak{R}_{1ef} \cdot \mathfrak{R}_{2ef}}$, gdje su $\mathfrak{R}_{1ef}$ i $\mathfrak{R}_{2ef}$ efektivni otpori za izmjeničnu struju pojedinih krugova pojasnog filtra. Efektivni a n o d n i otpor je ipak prema gore rečenom samo polovina od $\mathfrak{R}_{aef}$. Ako je $\mathfrak{U}_g$ uzbudni napon na rešetki, imamo kod k r i t i č n e veze prema jedn. (32) za naponsko pojačanje pentode:

$$\boxed{V_u = 0{,}5 \cdot S \cdot \mathfrak{R}_{aef}} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (71)$$

U mnogim slučajevima može se uzeti da je $\varrho_{1ef} = \varrho_{2ef}$, pa je onda $\mathfrak{U}_1 = \mathfrak{U}_2 = \mathfrak{U}_a$, što s jedn. (26) daje:

$$\boxed{\mathfrak{U}_a = 0{,}5 \cdot \mathfrak{U}_g \cdot S \cdot \mathfrak{R}_{aef}} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (72)$$

Ako su pak prigušenja obaju krugova vrlo različna, ne možemo više uzeti da je ϱ_{1ef} jednako ϱ_{2ef}, pa se uz $C_1 = C_2$, odnosno $L_1 = L_2$ i k r i t i č n u vezu naponi odnose kao:

$$\boxed{\frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = \sqrt{\frac{\varrho_{2ef}}{\varrho_{1ef}}}} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (73)$$

kako to dulji račun pokazuje. U svakoj drugoj vezi (natkritične ili potkritične) naponsko je pojačanje manje. Ista razmatranja vrijedila bi i za druge načine vezivanja, dakle ne samo za induktivno vezivanje krugova pojasnog filtra.

Ponavljanje

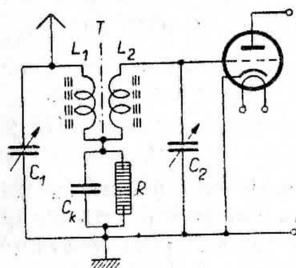
Najjednostavniji *pojasni filtar* sastoji se od dva međusobno vezana i na istu frekvenciju ugođena titrajna kruga. Kod *kritične* veze postizava naponski prijenos najvišu vrijednost, pa je u tom slučaju stupanj veze jednak recipročnoj vrijednosti efektivne oštrine rezonancije pojasnog filtra, dakle $k = 1/\varrho_{ef}$ ili $k \cdot \varrho_{ef} = 1$. Ako je $k \cdot \varrho_{ef} > 1$, imamo *natkritičnu* vezu, a ako je $k \cdot \varrho_{ef} < 1$, imamo *potkritičnu vezu.* U prvom slučaju ima krivulja rezonancije sedlo i dva vrha, do čega dolazi uslijed pojavljivanja dviju veznih frekvencija. U drugom slučaju nema ovih pojava. Efektivni rezonantni otpor pojasnog filtra je kod kritične veze jednak polovini tog otpora kod jednog kruga, pa je prema tome i naponsko pojačanje pojasnog filtra, kod pritične veze, samo polovina naponskog pojačanja kod jednostavnog zapornog kruga. Za pentodu vrijedi kod kritične veze: $V_u = 0{,}5 \cdot S \cdot \mathfrak{R}_{aef}$, ako je $\mathfrak{R}_{aef}$ efektivni otpor izmjeničnoj struji u anodnom krugu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kad je pojasni filtar sa dva titrajna kruga kritično vezan? *Odgovor:* Kad je faktor veze jednak recipročnoj vrijednosti efektivne oštrine rezonancije pojasnog filtra ($k = 1/\varrho_{ef}$). — *P.:* Kad imamo natkritičnu vezu? *O.:* Ako je $k \cdot \varrho_{ef} > 1$. *P.:* Kako izgleda krivulja rezonancije pojasnog filtra u slučaju natkritične veze? *O.:* Ona ima dva vrha i sedlo u sredini. — *P.:* Čime se objašnjava pojava ovih vrhova? *O.:* Uslijed prejake veze gube titrajni krugovi svoje vlastite frekven-

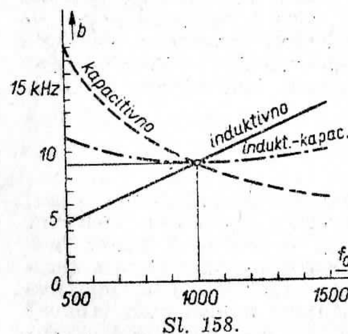
cije, te se u oba kruga pojavljuju dvije nove vezne frekvencije. — *P.:* Zbog čega ne smije stupanj veze pojasnog filtra biti prevelik? *O.:* U tom je slučaju sedlo preduboko, a oba vrha predaleko jedan od drugoga, pa je širina pojasa prevelika. — *P.:* Koliki je ukupni prigušni otpor pojasnog filtra sa dva kruga kod kritične veze? *O.:* Jednak je dvostrukom prigušnom otporu pojedinog kruga. — *P.:* Što slijedi iz toga? *O.:* Pojasni filtar sa dva kruga ima samo polovinu oštrine rezonancije i pola naponskog prijenosa u usporedbi s jednostavnim titrajnim krugom. — *P.:* Kakav utjecaj ima ovo na naponsko pojačanje visokofrekventnog pojačala, koje za vezu ima pojasni filtar? *O.:* I naponsko pojačanje je samo polovica onog kod veze za zapornim krugom. — *P.:* Da li su iste prilike i kod natkritične, odnosno potkritične veze? *O.:* Ne! Prijenos napona je onda još manji nego kod kritične veze.

212. — Kod direktnih prijemnika ne upotrebljavaju se pojasni filtri s induktivnom, nego češće *s kapacitivnom vezom.* Temeljni spoj ovakvog pojasnog filtra vidimo na sl. 157. On odgovara kapacitivno vezanim titrajnim krugovima iz dijela I, sl. 160-b). Oba kruga L_1—C_1 i L_2—C_2 zaštićena su od međusobnog djelovanja metalnim razdjelnim zidom *T*, a vezani su kondenzatorom za vezu C_k (nekoliko desetada hiljada pikofarada). Prijemosni otpor *R* (nekoliko desetaka kilooma) veže krug rešetke galvanski s minus-polom i istodobno uzrokuje izvjesno splоštenje krivulje rezonancije pojasnog filtra. Za ostalo vrijede razmatranja iz odsjeka 209. do 211. za pojasni filtar s induktivnom vezom.



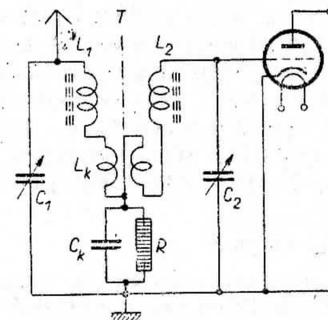
Sl. 157.

213. — Svi dosada promatrani pojasni filtri imaju, osim što iskorištavaju samo 50% izmjeničnog napona (vidi odsjek 211), i manu da im je širina pojasa ovisna o frekvenciji. Prema dijelu I, jedn. (63) je: $b = R_r/2\pi L) = f_0 \cdot R_r/(2\pi \cdot f_0 \cdot L) = f_0 R_r/(\omega_0 L)$, dakle prema odsjeku 210., za kritičnu vezu: $b = f_0/\varrho$, a prema jedn. (70): $b = f_0 \cdot k$. Za induktivnu vezu vrijedi uz $L_1 = L_2 = L$ prema dijelu I, odsjeku 215.-a): $k_L = M/L$, a za kapacitivnu vezu uz $C_1 = C_2 = C$ prema dijelu I, odsjek 215.-b): $k_c = C/(C + C_k)$ ili zbog $C_k > C$: $k_c \approx C/C_k$. Zbog toga imamo $b_1 = f_0 \cdot k_L = f_0 M/L$ i $b_2 = f_0 \cdot k_c = f_0 C/C_k$ ili zbog $\omega_0 LC = 1$ (vidi dio I. jedn. 52): $b_2 = f_0/(\omega^2 LC_k) = 1/(f_0 \cdot 4\pi^2 LC_k)$. Iz ove jednadžbe vidimo da *širina pojasa kod induktivne veze s porastom frekvencije raste, a kod kapacitivne veze pada.* Na sl. 158. prikazani su odnosi za pojasni filtar, koji kod frekvencije $f_0 = 1\,000$ kHz ima širinu pojasa $b = 9$ kHz u području od 500 do 1 500 kHz (200 do 600 m).



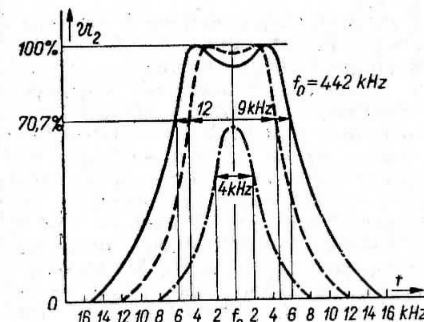
Sl. 158.

214. — Da dobijemo pojasni filtar sa što jednoličnijom širinom pojasa, to jest da povežemo dovoljno veliku selektivnost sa zadovoljavajućom kvalitetom reprodukcije u što širem visokofrekventnom području, ujedinimo oba načina veze, pa ćemo dobiti *induktivno - kapacitivno vezani pojasni filtar* (sl. 159) s gotovo konstantnom širinom pojasa na čitavom području srednjih valova (vidi sl. 158).[44]



Sl. 159.

215. — Kod direktnih prijemnika ili kod visokofrekventnih pojačala u prijemnicima sa superpozicijom oba titrajna kruga pojasnih filtara moraju se ugađati promjenljivim kondenzatorima C_1 i C_2, koji imaju zajedničku osovinu (vidi dio I, sl. 174). Kako se danas općenito upotrebljavaju zavojnice s visokofrekventnom željeznom jezgrom, kojima je rasipanje vrlo maleno i zauzimaju malo mjesta, mogu se oba kruga zajedno s elementima za vezu ugraditi u zajednički zaštitni lonac (vidi dio I, sl. 168). Kod *međufrekventnih pojasnih filtara* za prijemnike sa superpozicijom gradnja je znatno lakša, jer je ove filtre potrebno ugoditi za jednu uvijek čvrsto određenu vrijednost (međufrekvencija). Izrađuju se međutim i međufrekventni pojasni filtri *s promjenljivom širinom pojasa*, da bi se propušteno područje moglo u određenim granicama mijenjati. Zbog toga se mora faktor veze na neki način mijenjati, na primjer tako da se zavojnice L_1 i L_2 međusobno udaljuju ili približavaju, ili da se među njima pokreće lim koji zaslanja jednu od druge. Ako želimo primati neki jaki odašiljač, na primjer lokalni, s obzirom na poboljšanje kvalitete reprodukcije poželjna je veća



Sl. 160.

[44]) Krivulja za ovaj način vezivanja je sredina između obaju drugih načina. Kod viših frekvencija prevladavaju svojstva induktivne, a kod nižih svojstva kapacitivne veze. Titrajni krugovi L_1—C_1 i L_2—C_2 opet su međusobno zaslonjeni (*T*). Induktivna veza vrši se preko zavojnica za vezu L_k, a kapacitivna kondenzatorom za vezu C_k. Zavojnice za vezu L_k vezane su čvrsto i moraju biti ispravno polarizirane, kako bi došlo do sumiranja kapacitivnog i induktivnog veznog napona. Faktor veze kod kapacitivno-induktivno vezanog pojasnog filtra je prema odsjeku 213.: $k = k_L + k_c = L_k/L + C/C_k$, a za širinu pojasa dobivamo: $b = b_1 + b_2 = f_0 L_k/L + 1/(f_0 \cdot 4\pi^2 \cdot L\, C_k)$.

širina pojasa (na primjer $b = 12$ kHz). Ako se naprotiv radi o primanju slabijeg odašiljača, moramo upotrebiti manju širinu pojasa (na primjer 6 kHz) da bismo postigli dovoljno veliku selektivnost radi izbjegavanja smetnji od odašiljača susjednih po frekvenciji. Pri tome treba u svakom slučaju računati s pogoršanjem kvalitete reprodukcije zbog rezanja bočnih pojaseva. Na sl. 160. prikazane su kao primjer krivulje rezonancije međufrekventnog pojasnog filtra s promjenljivom induktivnom vezom (vidi sl. 156. te dio I, sl. 90). Širina pojasa ovog pojasnog filtra za međufrekvenciju $f_0 = 442$ kHz može se mijenjati po volji između 4 kHz i 12 kHz.

Ponavljanje

Područje propuštanja, dakle širina pojasa induktivno vezanog pojasnog filtra, raste s porastom frekvencije, dok širina pojasa kod pojasnog filtra s kapacitivnom vezom s porastom frekvencije pada. *Induktivno-kapacitivno vezani pojasni filtar* ujedinjuje svojstva induktivno i kapacitivno vezanog pojasnog filtra, pa ima prema tome gotovo konstantnu širinu pojasa na velikom području frekvencija. Za izvedbu su najjednostavniji oni *međufrekventni pojasni filtri* koji su ugođeni na jednu određenu frekvenciju (međufrekvenciju). Ima i međufrekventnih pojasnih filtara s promjenljivom širinom pojasa.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može izračunati širina pojasa bilo kakvog filtra? *Odgovor:* Vrijedi odnos: $b = f_0 \cdot k$, gdje je f_0 odgovarajuća rezonantna frekvencija, a k faktor veze. — *P.:* Kako je ovisna širina pojasa induktivno, odnosno kapacitivno vezanog pojasnog filtra o frekvenciji? *O.:* Kod pojasnog filtra s induktivnom vezom raste širina pojasa s frekvencijom, a kod filtra s kapacitivnom vezom ta širina pada. — *P.:* Koje su mane vezane uz ovu činjenicu kod filtra s kapacitivnom vezom? *O.:* Što je viša frekvencija koju primamo, to lošija je reprodukcija visokih tonova. — *P.:* Kakve prednosti ima induktivno-kapacitivna veza kod pojasnog filtra? *O.:* U njoj su sjedinjena svojstva filtra s kapacitivnom i onoga s induktivnom vezom, pa je širina pojasa samo neznatno ovisna o frekvenciji. — *P.:* Što su međufrekventni pojasni filtri? *O.:* Pojasni filtri s induktivnom vezom, u većini slučajeva čvrsto ugođeni na međufrekvenciju prijemnika. — *P.:* Kakve prednosti ima međufrekventni pojasni filtar s promjenljivom širinom pojasa? *O.:* Širina pojasa može se u izvjesnim granicama, već prema prilikama prijema, proširiti ili suziti, te je moguć utjecaj na kvalitetu reprodukcije, odnosno na selektivnost.

Pitanja

101. Koji odnos postoji između oštrine rezonancije i kuta gubitaka kod pojasnog filtra?

102. Kakav štetni utjecaj ima ovisnost o frekvenciji kod induktivno vezanog pojasnog filtra?

103. Kako se ugađa pojasni filtar na željenu frekvenciju?

Zadaci

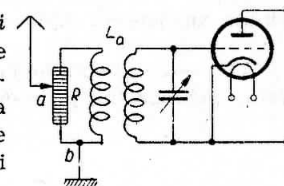
76. Oba jednaka kruga kapacitivno vezanog pojasnog filtra imaju kapacitet po 200 pF i širinu pojasa od 9 kHz, a ugođeni su na frekvenciju 1 MHz. Koliki je: a) faktor veze, b) kondenzator za vezu i c) induktivitet pojedinog kruga?

77. Međufrekventni pojasni filtar ima u svakom titrajnom krugu kapacitet od 100 pF i paralelni otpor gubitaka po 900 kΩ. On se nalazi u anodnom krugu pentode s unutarnjim otporom od 1 MΩ i strminom 2 mA/V. Međufrekvencija je 470 kHz. Filtar je izlazno vezan na diodu ukupna otpora od 200 kΩ. Koliki je za svaki krug kod kritične veze: a) induktivitet, b) efektivni otpor izmjeničnoj struji, c) efektivna oštrina rezonancije, d) srednji efektivni otpor za izmjeničnu struju, e) srednja efektivna oštrina rezonancije i f) naponsko pojačanje?

78. Induktivno-kapacitivno vezani pojasni filtar ugođen je na frekvenciju 800 kHz. Induktivitet pojedinog kruga je 0,2 mH, a kapacitet za vezu 40 000 pF. Koliki mora da bude induktivitet zavojnice za vezu uz širinu pojasa od 9 kHz?

Regulacija jakosti zvuka u visokofrekventnom pojačalu

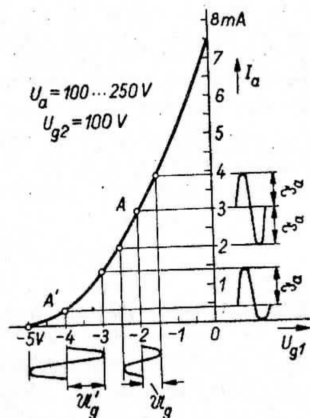
216. — U prijemnicima s visokofrekventnim pojačalom mora postojati uređaj koji omogućuje regulaciju osjetljivosti prijemnika. Kod velike jakosti polja postoji naime opasnost da dođe ne samo do prejake reprodukcije, nego i do preuzbuđenja visokofrekventnih stupnjeva i demodulatora. Ova se opasnost može ukloniti spojem koji omogućuje regulaciju veličine *visokofrekventnog* izmjeničnog napona. Ovakva *regulacija jakosti zvuka u visokofrekventnom dijelu* može se u najjednostavnijem slučaju izvršiti *promjenljivom antenskom vezom.* No ovaj način ima i taj nedostatak, što promjena stupnja veze ponešto mijenja i ugađanje, selektivnost i prigušenje antenskog kruga. Bolje je potenciometar R od nekoliko kilooma spojiti paralelno antenskoj zavojnici L_a (sl. 161). Iskoristivi izmjenični napon imamo sada između tačaka a i b. Što se dalje klizač pomiče prema b, to manji je raspoloživi izmjenični napon. Ovakvim uređajem za regulaciju može se doduše smanjiti jakost zvuka, no smetnje koje dolaze do prijemnika iz mreže neće međutim biti oslabljene, jer prijemnik radi s najvećim pojačanjem i onda, kad je ulazno nareguliran na minimum. Moramo dakle upotrebiti takav uređaj za regulaciju koji će sniziti *faktor pojačanja* ulaznog stupnja. To se najdjelotvornije može izvršiti pomicanjem radne tačke elektronke, koja vrši visokofrekventno pojačavanje, u manje strmo područje radne karakteristike, jer je i naponsko pojačanje uz manju strminu manje (vidi odsjek 58 i dio I, sl. 200).



Sl. 161.

217. — Pomicanje radne tačke kod visokofrekventne regulacije jakosti zvuka može se izvršiti potenciometrom kojim se mijenja prednapon uzbudne rešetke ili napon zaslonske rešetke kod elektronki s više rešetki. Što je veći ulazni izmjenični napon, to veći bi morao da bude prednapon. Elektronka tada radi sa sve manjom strminom, a prema tome i sa sve

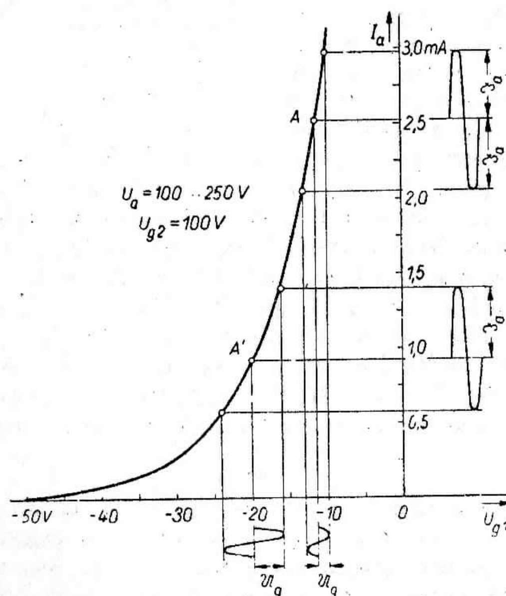
manjim naponskim pojačanjem. Kod malenih ulaznih napona je baš obrnuto. Ovaj način regulacije jakosti zvuka uz upotrebu normalnih elektronki moguće je primijeniti međutim samo onda, ako izmjenični napon koji želimo regulirati nije prevelik, jer u protivnom nastaju zbog zakrivljenosti karakteristike nelinearna izobličenja. Kako na sl. 162. za jednu visokofrekventnu pentodu na primjer vidimo, da je ulazni napon $\mathfrak{U}_g$ = = 0,5 V uz prednapon uzbudne rešetke U_{g1} = — 2 V (radna tačka A) i napon zaslonske rešetke U_{g2} = 100 V neizobličenu izmjeničnu anodnu struju s amplitudom $\mathfrak{J}_a$. Ako je uzbudni izmjenični napon veći od $\mathfrak{U}_g'$ = 1 V moramo, da bismo dobili istu amplitudu anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$, uzeti veći prednapon uzbudne rešetke U_{g1}' = — 4 V (radna tačka A'). U tom je slučaju anodna struja jako izobličena.



Sl. 162.

Dalje vidimo iz sl. 162, da je područje regulacije prilično maleno, jer strmina na donjem dijelu karakteristike pada naglo na vrijednost nula.

218. — Za ove svrhe konstruirane su specijalne takozvane *eksponencijalne pentode* (na primjer AF 3), kojih U_{g1}—I_a-karakteristika ima približno oblik e-funkcije (»eksponencijalna karakteristika«). Strmina ovakvih pentoda pada na vrijednost nula mnogo sporije nego običnih pentoda (sl. 163). Vidimo odmah da sada i kod velikog uzbudnog napona $\mathfrak{U}_g'$ = 3,75 V i prednapona (regulacionog napona) U_{g1}' = — 20 V izobličenje anodne izmjenične struje nije preveliko. Približno eksponencijalan oblik krivulje dobiva se time što se namotaj uzbudne rešetke



Sl. 163.



Sl. 164.

ne izvodi s konstantnim usponom. Srednji dio rešetke ima veliki, a oba krajnja dijela manji uspon (sl. 164). Kod malenih prednapona U_{g1}' bit će anodna struja I_a određena dijelom rešetke s malenim usponom (maleni prohvat). Kod većih prednapona djeluje samo srednji dio rešetke s velikim usponom (veliki prohvat). S pentodom AF 3 može se na primjer uz napon zaslonske rešetke U_{g2} = 100 V postići promjena strmine 1 : 1 000, a regulacioni napon, koji je za to potreban, iznosi oko U_{g1}' = — 55 V. Da bi se izbjegla nelinearna izobličenja ne smije uzbudni izmjenični napon da bude prevelik; uz regulacioni napon U_{g1} = — 30 V ne smije na primjer da bude veći od 3 V (tjemena vrijednost).

Ponavljanje

Visokofrekventna regulacija jakosti zvuka služi za regulaciju osjetljivosti prijemnika. Ona se može vršiti promjenljivom antenskom vezom ili potenciometrom u antenskom krugu. Povoljnije radi regulacija, koja se osniva na mijenjanju pojačanja prvog stupnja visokofrekventnog pojačala, jer se u tom slučaju i smetnje koje dolaze preko mreže mogu smanjiti. Pojačanje se ovdje regulira pomicanjem radne tačke elektronke u manje strmo područje radne karakteristike. Što je veći negativni prednapon, to manji je stupanj pojačanja. *Eksponencijalne pentode* imaju naročito veliko područje regulacije, jer strmina U_{g1}—I_a-karakteristike tek kod velikih regulacionih napona (prednapona uzbudne rešetke) postaje nula. Ovakve eksponencijalne karakteristike postizavaju se tako, da se zavoji na uzbudnoj rešetki izvode s različitim usponom. Uzbudni izmjenični napon ne smije ipak biti prevelik, kako bi nelinearna izobličenja bila dovoljno malena.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi visokofrekventna regulacija jakosti zvuka? *Odgovor:* Pomoću nje se izbjegava opasnost od preuzbuđenja elektronke, koja vrši pojačavanje i ugađa jakost zvuka. — *P.:* Na koji se način može vršiti reguliranje jakosti zvuka u antenskom krugu? *O.:* Promjenljivom antenskom vezom ili potenciometrom. — *P.:* Koji je postupak povoljniji? *O.:* Povoljnija je regulacija jakosti zvuka mijenjanjem pojačanja prvog stupnja visokofrekventnog pojačala. — *P.:* Kako radi ovaj način regulacije? *O.:* Povećavanjem negativnog prednapona uzbudne rešetke pomiče se radna tačka na manje strmi dio radne karakteristike, pa pojačanje u odgovarajućoj mjeri pada. — *P.:* Kakav oblik mora da ima karakteristika u ovom slučaju? *O.:* Strmina mora da pada što sporije na vrijednost nula; radna karakteristika mora da ima približno oblik *e*-funkcije (eksponencijalna karakteristika). — *P.:* Kod kojih elektronki je to slučaj? *O.:* Kod eksponencijalnih pentoda. — *P.:* Kako se dobiva eksponencijalna karakteristika? *O.:* Tako da se zavoji uzbudne rešetke u srednjem dijelu izvode s većim usponom nego na kraju. — *P.:* Kako se mogu nelinearna izobličenja, koja nastaju uslijed zakrivljenosti karakteristike, držati dovoljno malenim? *O.:* Uzbudni izmjenični napon ne smije da bude prevelik.

219. — Na sl. 165. vidimo principnu shemu visokofrekventnog stupnja s elektronkom AF 3, s ručnom regulacijom. Mijenjanje regulacionog napona (regulacija jakosti zvuka) vrši se promjenljivim otporom u katodi

R_3 = 20 kΩ, koji je radi kratkog spoja za visokofrekventne struje premošten kondenzatorom C_2 = 1 μF. Istosmjerni napon U_{g2} dobiva zaslonska rešetka preko djelitelja napona izvedenog od otpornika R_1 i R_2 i spojenog između +*A* i katode. Ako između +*A* i —*A* imamo napon od 250 V, uzima se $R_1 = R_2$ = 50 kΩ. Između tačaka *a* i *b* djelitelja napona vlada napon $U_{g2} \approx 100$ V. Djelitelj napona je *neophodno potreban*, kako bi napon zaslonske rešetke ostao jednako velik i za vrijeme procesa regulacije. Kad bismo naime, kao i dosada, napon na zaslonskoj rešetki proizvodili jednostavnim predotporom, dakle samo pomoću otpornika R_2 (vidi odsjek 120 i sl. 86), bio bi pad napona kad otpočne regulacija na tom otporu manji, a napon zaslonske rešetke veći. Kod povećanja negativnog prednapona na uzbudnoj rešetki ne postaje naime manja samo anodna struja, nego i struja zaslonske rešetke. Ova se pojava naziva *klizanje napona zaslonske rešetke*. Klizanje se mora izbjeći jer ono djeluje suprotno procesu regulacije, a osim toga može kod jake regulacije (velik negativni prednapon) doći do prekoračenja maksimalno dopuštenog napona zaslonske rešetke. **Djeliteljem napona** može se postići prilično »čvrst« (tačnije »ograničeno klizeći«) napon zaslonske rešetke, ako je struja koja teče kroz R_1 (I_q) znatno veća od struje zaslonske rešetke I_{g2} koja teče kroz R_2. Promjene jakosti struje zaslonske rešetke uslijed regulacije imaju tada tek neznatan utjecaj na ukupnu jakost struje djelitelja napona. Praktički je dovoljno ako se *jakost struje I_q odabere dva do tri puta većom od jakosti struje zaslonske rešetke* bez regulacije. Struja koja teče kroz djelitelj napona teče također i kroz katodni otpor R_3. Na taj način postaje regulacioni napon na R_3 gotovo neovisan o veličini ukupne struje elektronke. U protivnom ne bi regulacioni napon na R_3 dostajao da dovoljno smanji jakost zvuka, jer s porastom napona regulacije pada vrlo brzo i ukupna jakost struje.

Sl. 165.

230. — Prema odsjeku 218. eksponencijalnim pentodama je potreban velik regulacioni napon. G. 1933. konstruirane su posebne regulacione elektronke s jednom rešetkom više nego kod pentoda. To su takozvane *regulacione heksode* (vidi dio I, odsjek 271 i sl. 188). Njima je potreban mnogo manji napon za regulaciju. Tako na primjer heksoda AH 1 treba regulacioni napon $U_{g1} = -20$ V, a pri tome joj se strmina mijenja u odnosu 1 : 1 000. Prednost ovakvih elektronki iskorištena je upravo kod automatske regulacije jakosti zvuka (vidi odsjek 223). Osnovnu konstrukciju regulacione heksode vidimo na sl. 166. Ovakva elektronka može se shvatiti kao serijski spoj triode i tetrode: triodni dio sastoji se od katode *K*, prve uzbudne rešetke *G* i prve zaslonske rešetke G_2 koja djeluje kao anoda. Na *G* se dovodi uzbudni izmjenični napon koji vrši prvo upravljanje anodnom strujom. Druga uzbudna rešetka G_3 ima kao i prva negativan prednapon (napon regulacije). Zbog toga će elektroni koji prođu kroz G_2, biti to jače pred G_3 zgusnuti, što je G_3 negativnija i što je G_1 manje negativna. Ispred G_3 stvara se dakle oblak prostornog naboja i taj služi kao *prividna (virtuelna) katoda* (za razliku od stvarne katode *K* tetrodnog dijela. Ovaj se dio sastoji od druge uzbudne rešetke G_3, druge zaslonske rešetke G_4 i anode *A*. Druga uzbudna rešetka G_3 dijeli elektronsku struju između elektroda G_2 i *A*, pa se zbog toga i zove *razdjelna rešetka*. Što je niži negativni prednapon U_{g3} druge uzbudne rešetke G_3, to više elektrona iz oblaka prostornog naboja privlači anoda *A* kroz G_3 pa jakost anodne struje I_a, a prema tome i strmina *S* U_{g2}—I_a-karakteristike raste, dok jakost struje zaslonske rešetke I_{g2} u odgovarajućoj mjeri pada (sl. 167). Vidimo da će se strmina dati u znatnoj mjeri mijenjati promjenom veličine negativnog regulacionog naona U_{g3}. Ukupna promjena strmine je zbog dvokratnog djelovanja na struju elektrona (pomoću G_1 i G_3) proporcionalna produktu $U_{g1} \cdot U_{g3}$. Kako smo vidjeli gore, mogu se s malenim regulacionim naponima izvesti znatne promjene strmine. Na sl. 168. vidimo konačno shematski prikazan osnovni spoj visokofrekventnog pojačala s regulacionom heksodom i s ručnom regulacijom (usporedimo sl. 165). Ako upotrijebimo AH 1, mogu obje rešetke G_1 i G_3 dobivati isti napon regulacije koji se dobiva na promjenljivom

Sl. 166.

Sl. 167.

Sl. 168.

katodnom otporu R_3.[45]) Obje zaslonske rešetke G_2 i G_4 spojene su zajedno i dobivaju isti napon preko zajedničkog djelitelja napona $R_1 + R_2$.

Ponavljanje

Napon zaslonske rešetke eksponencijalne pentode mora se uzimati s djelitelja napona, da bi se po mogućnosti izbjeglo *klizanje napona zaslonske rešetke*. Pri tome mora jakost struje koja teče kroz djelitelj napona da bude dva do tri puta veća od jakosti struje zaslonske rešetke u nereguliranom stanju. Za razliku od *eksponencijalnih pentoda* imaju regulacione heksode dvije uzbudne rešetke, koje dobivaju isti regulacioni napon. Ukupna promjena strmine U_g—I_a-karakteristike je zbog dvostrukog djelovanja na struju elektrona proporcionalna produktu obaju napona regulacije, pa se heksoda može regulirati mnogo nižim naponima nego pentoda. Heksoda radi kao trioda (katoda, prva uzbudna rešetka, prva zaslonska rešetka) spojena u seriju s tetrodom (virtuelna katoda, druga uzbudna rešetka, druga zaslonska rešetka, anoda). *Prividna ili virtuelna katoda* je oblak prostornog naboja koji se nalazi između prve zaslonske rešetke i druge uzbudne rešetke heksode.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može proizvesti regulacioni napon? *Odgovor:* Promjenljivim otporom u katodi. — *P.:* Kako se pri tome dobiva napon zaslonske rešetke? *O.:* Djeliteljem napona. — *P.:* Zašto nije dovoljan obični predotpor? *O.:* Jer se jakost struje zaslonske rešetke mijenja za vrijeme regulacije, pa se i napon zaslonske rešetke mijenja. — *P.:* Kako se ova pojava naziva? *O.:* Klizanje napona zaslonske rešetke. — *P.:* Kakvi moraju da bude otpori djelitelja napona? *O.:* Toliko veliki da ukupna jakost struje, koja teče kroz djelitelj, bude dva do tri puta veća od struje zaslonske rešetke, kad nema regulacije. — *P.:* Kakve su prednosti heksode? *O.:* Regulacioni napon može da bude znatno manji nego kod pentode. — *P.:* Čime se ova prednost postizava? *O.:* Time da se na struju elektrona ne djeluje samo jednom, nego dvjema uzbudnim rešetkama. — *P.:* Kako djeluje druga uzbudna rešetka? *O.:* Ona dijeli, već prema visini svog negativnog prednapona, elektronsku struju na prvu zaslonsku rešetku i anodu (razdjelna rešetka). — *P.:* Što je prividna (virtuelna) katoda? *O.:* Oblak prostornog naboja između prve zaslonske rešetke i druge uzbudne rešetke heksode. — *P.:* Zašto se ovdje može govoriti o »katodi«? *O.:* Oblak prostornog naboja služi kao izvor elektrona, dakle kao katoda za tetrodni sistem heksode sastavljen od druge uzbudne rešetke, druge zaslonske rešetke i anode.

Pitanja

104. Što se može reći o prohvatu eksponencijalne pentode?
105. Što razumijevamo pod regulacijom?
106. Koje su mane klizanja napona zaslonske rešetke kod eksponencijalnih pentoda?
107. Kako je građena heksoda?

---

[45]) Kod starijih heksoda (na primjer RENS 1234, odnosno X 4123) smije G_3 s obzirom na smanjenje izobličenja regulacijom imati samo pola regulacionog napona prve rešetke G_1.

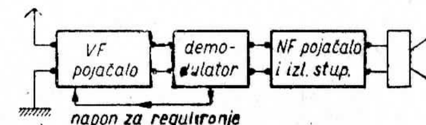
Zadaci

79. Eksponencijalna pentoda radi (prema sl. 165), kad nije regulirana, s anodnim naponom 250 V, naponom zaslonske rešetke 100 V i jakošću struje zaslonske rešetke 2,5 mA. Maksimalni dopušteni napon zaslonske rešetke je 125 V. Koliki mora da bude a) otpor R_1, b) otpor R_2 djelitelja napona zaslonske rešetke, ako u nereguliranom stanju ukupna struja koja teče kroz djelitelj mora da bude dva puta veća od struje zaslonske rešetke; c) koliku maksimalnu vrijednost poprima napon zaslonske rešetke kod potpune regulacije; d) kolika je u tom slučaju jakost struje, koja teče kroz djelitelj napona?

Automatska regulacija fejdinga i jakosti zvuka

221. — Kod prijema se ne radi samo o primanju raznih stanica nejednakom glasnoćom, nego i za vrijeme prijema jedne stanice nastaju promjene u jakosti zvuka koje uzrokuju pojave *fejdinga* (vidi dio I, odsjeke 157 i 158). Kako bi pojave fejdinga, koje se stalno mijenjaju i često naglo nastupaju, bilo vrlo nezgodno a i nemoguće izjednačivati ručnom regulacijom jakosti zvuka, imaju svi moderni srednji i veći aparati *automatsko izravnavanje fejdinga*. Ovakav uređaj automatski regulira visokofrekventno pojačanje u ovisnosti o jakosti primljenog visokofrekventnog napona stanice, koju slušamo. Za izravnavanje fejdinga dovoljno je područje regulacije od 1 : 3 000. Ako se međutim želi izjednačiti i jakost prijema raznih stanica, mora područje regulacije da bude mnogo veće, naime 1 : 100 000 do 1 : 500 000. Tada govorimo o *automatskoj regulaciji glasnoće*. U području regulacije 1 : 200 000 daju na primjer signali između 15 μV i 200 000 · 15 μV = 3 V jednaku jakost zvuka. Osnovno ugađanje jakosti zvuka vrši se rukom, to jest pomoću niskofrekventnog regulatora jakosti zvuka iza demodulatora, čime se pomaže automatskoj regulaciji. Automatska regulacija mora se izvršiti po mogućnosti u prvom stupnju visokofrekventnog pojačala, da se spriječi preuzbuđenje slijedeće elektronke (vidi odsjek 216). Zbog toga je potrebno da niskofrekventno pojačanje bude dovoljno veliko, kako bi se izlazna elektronka mogla uzbuditi do kraja. Niskofrekventno pojačanje ne smije međutim biti preveliko, jer se onda djelotvorno izjednačenje fejdinga dade postići samo uz prilično velike ulazne izmjenične napone. Područje regulacije je međutim znatno veće ako se istodobno regulira više stupnjeva visokofrekventnog pojačala.

222. — Na ovo je potrebno naročito upozoriti: *Prijemnik s uređajem za izjednačenje fejdinga mora da ima dobru antenu!* Ni najefektniji uređaj za izjednačenje fejdinga ne može izjednačiti promjene jakosti polja, ako je prijemna energija premalena. Moramo naime voditi računa o činjenici da je razina primljenih signala kod slabe an-



Sl. 169.

tene često ispod razine smetnji (vidi dio I, odsjeke 167 i 168). Uređajem za izjednačenje fejdinga pojačavaju se tada smetnje u tolikoj mjeri, da se iz zvučnika čuje samo nepodnošljivo krčanje. U tom pogledu nisu jednostavni neregulirani prijemnici ni izdaleka toligo neugodni. Iz ovoga slijedi da savršenog izjednačenja fejdinga uopće nema, jer su gotovo sve stanice podvrgnute često tolikim fejdinzima, da razina jakosti njihovog polja na mjestu prijema ulazi u oblak smetnji. Stoga nema nikakvog smisla ići s automatskom regulacijom jakosti zvuka i s automatskim izjednačenjem fejdinga predaleko.

223. — Automatska regulacija jakosti zvuka i automatsko izjednačenje fejdinga zasnivaju se na istoj zamisli kao i ručna regulacija u visokofrekventnom dijelu. Promjenljivim negativnim prednaponom (regulacioni napon — vidi odsjek 217) pomiče se kod jedne ili više elektronki, koje vrše visokofrekventno pojačavanje, radna tačka i time se mijenja njihovo pojačanje. Regulacioni napon ne proizvodi se više na katodnom otporu, nego pomoću demodulatora koji je ponajčešće duodioda ili dioda kombinirana s kakvom drugom elektronkom (vidi odsjeke 166 i 169). Na sl. 169. prikazan je princip djelovanja ovakve automatske regulacije: visokofrekventni titraji pojačavaju se na poznat način u visokofrekventnim pojačalima i demoduliraju demodulatorom; demodulacijom dobiveni niskofrekventni izmjenični naponi pojačavaju se u niskofrekventnom pojačalu i izlaznom stupnju. Kod demodulacije nastaje osim toga i istosmjerni napon (vidi dio I, odsjeke 196 i 144), kojemu je iznos ovisan o veličini visokofrekventnog napona dovedenog na demodulator (vidi odsjek 167). Ovaj napon je u stvari regulacioni napon i on se s demodulatora privodi u krug rešetki onih elektronki, koje vrše visokofrekventno pojačavanje, te se ovdje upotrebljava kao dodatni negativni prednapon za pomicanje radne tačke.

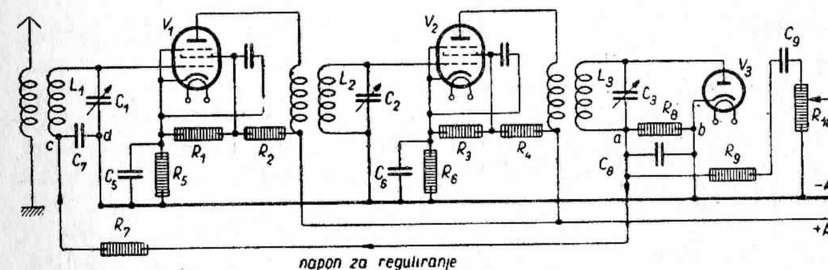
Ponavljanje

Moderni prijemnici imaju uređaj za *automatsku regulaciju jakosti zvuka i izjednačenje fejdinga,* pa se na taj način promjene u jakosti zvuka uslijed fejdinga i nejednake jakosti polja na mjestu prijema automatski izjednačuju. Ugađanje na željenu glasnoću vrši se ručnim niskofrekventnim regulatorom. Prijemnik s automatskom regulacijom zahtijeva dobru antenu, jer je automatska regulacija samo onda djelotvorna, ako ulazni izmjenični naponi nisu premaleni, a u prvom redu ako nisu manji od smetnji. Automatska regulacija djeluje u principu jednako kao i ručna, samo se regulacioni napon dobiva preko demodulatora. Što je veći izmjenični ulazni napon, to veći je i istosmjerni napon, koji daje demodulator. Ovaj napon dovodi se na rešetke elektronki koje vrše visokofrekventno pojačavanje, i ovdje pomiče radne tačke.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja je svrha automatske regulacije jakosti zvuka i izjednačenja fejdinga. *Odgovor:* Izjednačiti promjene u jakosti zvuka izazvane fejdingom i razlikama u jakosti polja. — *P.:* Kakva razlika postoji između automatske regulacije jakosti zvuka i automatskog izjednačivanja fejdinga? *O.:* Uređaj za automatsku regulaciju djeluje kod malenog područja regulacije kao izjednačivač fejdinga, a kod većeg područja regulacije istodobno i kao regulator jakosti zvuka. — *P.:* Koji osnovni uvjet mora da bude ispunjen kod prijemnika s automatskom regulacijom? *O.:* Upotreba dobre antene. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Da primljena energija bude dovoljno velika, kako se s regulacijom ne bi suviše pojačale i smetnje. — *P.:* Kako radi automatska regulacija? *O.:* U biti jednako kao i ručna: stupanj pojačanja regulirane elektronke ovisi o negativnom regulacionom naponu. — *P.:* Kako se kod automatske regulacije dobiva negativni prednapon? *O.:* Iskorištava se istosmjerni napon koji nastaje na demodulatoru prilikom demodulacije. — *P.:* Što se radi s ovim naponom? *O.:* Privodi se u krug rešetke elektronki, koje se regulira kao dodatni negativni prednapon.

224. — Na sl. 170. vidimo za primjer shemu jednog direktnog prijemnika sa tri kruga s automatskim izjednačenjem fejdinga u prvom stupnju visokofrekventnog pojačala. V_1 je eksponencijalna pentoda (na primjer AF 3, vidi sl. 165), V_2 je obična visokofrekventna pentoda (na primjer



Sl. 170.

AF 7), a V_3 dioda (na primjer AB 1). Obje elektronke V_1 i V_2 dobivaju preko R_5—C_5 i R_6—C_6 automatski osnovni prednapon, kojim se radna tačka postavlja na što strmiji dio karakteristike. Naponi zaslonskih rešetki dobivaju se djeliteljima napona R_1—R_2 i R_3—R_4. Visokofrekventni ulazni naponi na prvom krugu L_1—C_1 pojačavaju se elektronkom V_1, a onda preko L_2—C_2 privode elektronki V_2 i još jednom pojačavaju. Ovako pojačani visokofrekventni naponi dolaze preko L_3—C_3 na diodni demodulator i ovdje se na poznati način demoduliraju (vidi sl. 127). Niskofrekventni napon koji vlada na tački *a* otpora R_8 dovodi se preko zapornog otpornika za visokofrekventne struje na djelitelj napona R_{10} (R_g na sl. 127), koji se upotrebljava kao *niskofrekventni regulator* jakosti zvuka (vidi odsjek 221). Odvod sa R_{10} ide na rešetku izlazne elektronke ili na niskofrekventno pojačalo.

225. — S tačke *a* otpornika R_8 uzima se međutim i potrebni regulacioni napon za V_1 i privodi preko filtarskog otpora R_7 i kondenzatora C_7 rešetki V_1. Što je veći niskofrekventni napon na diodi V_3, to veći je i pad napona na R_8 (vidi odsjek 223). Izračunavanje regulacionog napona može se izvršiti prema sl. 129. Pri tome međutim

treba paziti da je tamo dan samo istosmjerni p r i r a s t napona ΔU_R. Kako naime dioda i kod visokofrekventnog napona $U_{HF} = 0$ V daje već neki istosmjerni napon (krivulja za $U_{HF} = 0$ ne počinje na sl. 130. u nul-tački), bit će stvarni regulacioni napon za taj p o č e t n i napon v e ć i, nego ΔU_R. Za opteretni otpor od 0,5 MΩ početni napon je oko 1 V (vidi tačku C na sl. 130). Kako dioda propušta samo u smjeru od anode prema katodi (vidi odsjek 166), mora tačka a na R_3 da bude negativna prema tački b koja leži na zajedničkom nul-vodiču. Uslijed toga ima i tačka c prvog titrajnog kruga L_1—C_1 negativan napon prema tački d, a isto vrijedi i za uzbudnu rešetku elektronke V_1 koja je spojena s tačkom c. Uzbudna rešetka dobivat će dakle, već prema veličini regulacionog napona, d o d a t n i negativni prednapon, koji se dodaje negativnom temeljnom prednaponu i uzrokuje smanjenje strmine i stupnja pojačanja. Ako su ulazni izmjenični naponi maleni, dobivamo i malen regulacioni napon, te se pojačanje elektronke V_1 promijeni tek neznatno.

226. — Filtarski spoj s otporima R_7—C_7 izjednačuje *niskofrekventne* varijacije napona uslijed modulacije, pa je regulacioni napon u dovoljnoj mjeri »izglađen«[46]. S druge strane ne smije *vremenska konstanta* $T = C_7 \cdot R_7$ filtarskog spoja da bude premalena, to jest kondenzator C_7 ne smije se preko otpora R_7 prebrzo nabiti. U tom slučaju reagirao bi naime uređaj za automatsku regulaciju na promjene tjemenih vrijednosti visokofrekventnih ulaznih napona koje dolaze od m o d u l a c i j e (vidi dio I, odsjek 188), pa bi tonska modulacija bila također izglađena, to jest uklonjena. Ako s druge strane proces regulacije nije dovoljno brz, neće automatska regulacija djelovati kod brzih pojava fejdinga, kakve se dešavaju naročito kod prijema kratkih valova i koje traju svega dijelove sekunde. To je razlog da se *vremenska konstanta filtarskog spoja uzima oko 0,1 do 0,2 s.* Kondenzator C_7 treba u tom slučaju 0,1 do 0,2 s, da se preko otpora R_7 nabije na dvije trećine pune vrijednosti dovedenog napona. Uređaj za automatsku regulaciju reagirat će prema tome na promjene napona koje se pojavljuju rjeđe od 5 do 10 puta u 2π sekunde, pa ni najniže tonske frekvencije neće izazvati regulaciju. Uz $R_7 = 1$ MΩ i $C_7 = 0{,}1$ μF dobiva se vremenska konstanta $T = R_7 \cdot C_7 = 10^6 \cdot 10^{-7} = 0{,}1$ sek.

Ponavljanje

Regulacioni naponi na opteretnom otporu diodnog demodulatora veći su za *početni napon diode* od porasta istosmjernog napona na opteretnom otporu. Opterećena dioda daje naime i kod privedenog visokofrekventnog napona 0 V malen istosmjerni napon (početni napon). Regulacioni napon što ga daje dioda mora se filtarskim članom osloboditi niskofrekventnih varijacija modulacije. Pri tome treba *vremensku konstantu* ovog člana uzeti 0,1 do 0,2 s. Pri premalenoj vremenskoj konstanti vrši se i regulacija modulacije, dok pri prevelikoj ne reagira regulacija na brze pojave fejdinga.

[46]) Ukapčanje kondenzatora C_7 omogućuje između ostaloga direktno vezanje rotora kondenzatora C_1 na zajednički nul-vodič.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može vršiti niskofrekventna regulacija jakosti zvuka kod prijemnika koji ima uređaj za izjednačenje fejdinga! *Odgovor:* Odvodni otpor rešetke elektronke koja slijedi iza demodulatora, ili opteretni otpor diodnog demodulatora, izvode se kao djelitelj napona. — *P.*: Na što treba paziti kod izračunavanja regulacionog napona proizvedenog diodom? *O.*: Regulacioni napon veći je za početni napon diode od porasta napona na opteretnom otporu. — *P.*: Zašto se ne može bez daljnjega za regulaciju upotrijebiti regulacioni napon s diode? *O.*: Jer ovaj napon sadrži još niskofrekventne modulacione promjene primljenog signala. — *P.*: Kako se regulacioni napon oslobađa od ovih promjena? *O.*: Filtarskim članom s otpornikom. — *P.*: Koji uvjet mora pri tome da bude ispunjen? *O.*: Vremenska konstanta tog člana treba da bude 0,1 do 0,2 s. — *P.*: Koja je mana premalene vremenske konstante? *O.*: Da regulacija zahvata i modulacione promjene. — *P.*: Zašto vremenska konstanta ne smije da bude prevelika? *O.*: Jer tada regulacija ne bi djelovala kod kratkih fejdinga.

Pitanja

108. Da li regulacija jednog jedinog stupnja visokofrekventnog pojačala dostaje za djelotvornu automatsku regulaciju jakosti zvuka?

109. Kako nastaje početni napon diodnog ispravljača?

110. Što pokazuje vremenska konstanta filtarskog člana kod uređaja za automatsku regulaciju?

Zadaci

80. U visokofrekventnom pojačalu sa dva stupnja s izjednačenjem fejdinga prema sl. 170. u nereguliranom stanju radna je strmina prve, odnosno druge elektronke 1,8 mA/V, odnosno 2,1 mA/V, a djelotvorni anodni otpori 250 kΩ, odnosno 100 kΩ. Dioda je opterećena sa 5,0 MΩ: a) Koliko je ukupno naponsko pojačanje obaju stupnjeva? b) Koliki regulacioni napon daje diodni demodulator, ako je ulazni napon na prvoj elektronki 100 μV (tjemena vrijednost)?

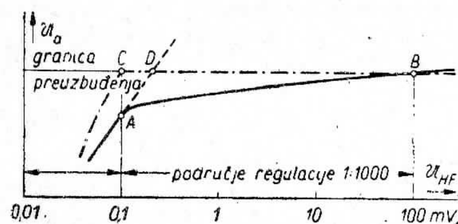
81. Prijemnik s automatskim izjednačenjem fejdinga mora izravnavati i fejdinge koji traju samo $^1/_5$ s: koliki najviše smije da bude otpor filtarskog člana u regulacionom vodu, ako je kapacitet filtarskog kondenzatora 0,2 μF?

Odgođena regulacija fejdinga i jakosti zvuka

227. — Automatska regulacija fejdinga i jakosti zvuka o kojoj je bilo govora u odsjecima 223. do 226. ima jednu manu: da bi se naime izlazna elektronka prijemnika s ovakvom regulacijom mogla do kraja uzbuditi, mora visokofrekventni napon na diodnom demodulatoru da ima posve određenu minimalnu vrijednost. Prema tome se može prijemniku s manjim ili srednjim brojem elektronki desiti da automatska

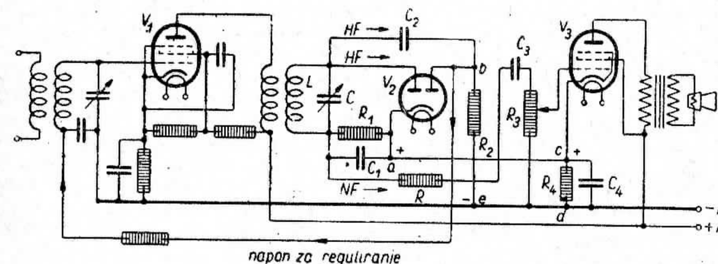
regulacija počne djelovati već onda dok još primljeni izmjenični napon nije dovoljno velik da bi mogao dati punu jakost zvuka. Pojačanje prijemnika sniženo je prerano, pa prijemnik izgleda manje osjetljiv nego što u stvari jest. Ove pojave nema ako automatska regulacija nastupa tek onda kad primljeni izmjenični napon dostaje za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke i pri posve zatvorenom ručnom regulatoru jakosti zvuka. U tom slučaju govorimo o *odgođenoj regulaciji*. U vrlo osjetljivim velikim prijemnicima s mnogo elektrinki nije ograničenje procesa automatske regulacije potrebno, jer neizbježive smetnje uslijed toplinskog šuma (vidi odsjeke 68 i 193) mogu na diodni demodulator dati tolike izmjenične napone da je izlazna elektronka do kraja uzbuđena ili čak preuzbuđena.

228. — »Odgađanje« regulacionog napona postizava se na taj način da se diodi koja ga proizvodi dade *negativan prednapon*. Ovaj prednapon mora da bude po veličini jednak tjemenoj vrijednosti visokofrekventnog napona na diodi potrebnog za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke. Automatski proces regulacije neće tada nastupati kod manjih izmjeničnih napona, jer će katoda diode biti pozitivnija od anode. Prijeđe li međutim tjemena vrijednost visokofrekventnog napona na diodi negativni prednapon odgađanja, poteći će kroz diodu struja, a proces regulacije će nastupiti. Odnose u ovom slučaju možemo vidjeti jasno na sl. 171. Ovdje je prikazana ovisnost niskofrekventnog izlaznog napona $\mathfrak{U}_a$ izlazne elektronke o visokofrekventnom ulaznom izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_{HF}$. Dok je $\mathfrak{U}_{HF}$ na primjer niži od 0,1 mV, radi prijemnik zbog napona odgađanja bez regulacije. U tački *A* počinje automatska regulacija, pa nakon toga $\mathfrak{U}_a$, a isto tako i jakost zvuka, ne rastu više naglo (izvučena krivulja!). U tački *B* je granica kod koje nastupa preuzbuđenje. Vidimo da krivulja regulacije nije savršena. Kod savršene regulacije morao bi naime izlazni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$, nakon što je postigao granicu preuzbuđenja izlazne elektronke (tačka *C*), ostati jednako velik usprkos tome što ulazni izmjenični napon $\mathfrak{U}_{HF}$ raste (tačka-crtkana krivulja!). Kod prijemnika bez regulacije raste $\mathfrak{U}_a$ neprestano s rastućim $\mathfrak{U}_H$, pa se granica preuzbuđenja izlazne elektronke (tačka *D*) postizava tek kod posve otvorenog regulatora jakosti zvuka (crtkana krivulja!).



Sl. 171.

229. — Na sl. 172. prikazan je spoj visokofrekventnog pojačala s odgođenom automatskom regulacijom fejdinga i jakosti zvuka. Visokofrekvetni napon *HF* pojačan pentodom V_1 dolazi preko ugođenog kruga *L—C* na demodulator, koji je u ovom slučaju dvostruka dioda V_2 (vidi odsjek 169). Prva polovica duodiode služi za demodulaciju. Na serijskom opteretnom otporu R_1 remoštenom kondenzatorom C_1 uzima se niskofrekventni napon *NF*. Ovaj napon se vodi preko otora *R*, koji služi kao zapor visokoj frekvenciji, i kondenzatora rešetke C_3 na niskofrekventni ručni regulator jakosti zvuka R_3 i na rešetku izlazne pentode V_3. Dio visokofrekventnog napona *HF* privodi se s ugođenog kruga *L—C* preko kondenzatora C_2 (oko 50 pF) drugoj diodi. Na paralelnom opteretnom



Sl. 172.

otporu R_2 (0,5 do 1 MΩ) nastaje regulacioni napon koji se s tačke *b* dovodi u krug rešetke regulirane elektronke V_1. Napon odgađanja uzima se s katodnog otpora R_4 izlazne elektronke, pa je u stvari jednak negativnom prednaponu te elektronke[47]). Katodna tačka *a* duodiode nije spojena s minus-polom anodne baterije, nego s tačkom *c* katodnog otpora R_4. Prema tome je tačka *a* pozitivnija od tačke *e*, priključne tačke otpora R_2, za pad napona između tačke *c* i *d*. Druga (desna) anoda duodiode V_2 je prema tome za isti iznos napona negativnija od katode tako dugo, dok je tjemena vrijednost visokofrekventnog napona manja od napona odgađanja, pa kroz taj dio duodiode ne teče struja. Tek nakon toga što visokofrekventni napon postane veći od napona odgađanja, postaje druga anoda pozitivnija od katode, pa počinje proces regulacije. Otpor opterećenja R_1 je za razliku od otpora opterećenja R_2 spojen direktno s katodom duodiode. Demodulacija se dakle vrši bez napona usporenja, kako to u stvari i mora da bude.

Ponavljanje

Kod *odgođene regulacije fejdinga i jakosti zvuka* počinje regulacija tek onda kad je primljeni visokofrekventni napon dovoljno velik za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke prijemnika. Odgađanje se postizava time što se anodi diode, koja proizvodi regulacioni napon, daje negativan prednapon (napon odgađanja) koji je jednak tjemenoj vrijednosti visokofrekventnog napona na diodi potrebnog za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke. Ako je tjemena vrijednost ovog napona veća od napona odgađanja, počinje regulacija automatski djelovati. Napon odgađanja može se uzeti s katodnog otpora izlazne elektronke, ili elektronke

[47]) Ukoliko bi ovaj napon kao napon odgađanja bio prevelik, može se uzeti dio napona odvojkom na katodnom otporu ili se može upotrijebiti prednapon druge elektronke koja vrši niskofrekventno predpojačavanje.

koja vrši niskofrekventno predpojačavanje. Kako demodulacija mora da bude izvršena bez odgađanja, mora demodulator da ima dvije odijeljene anode (duodioda).

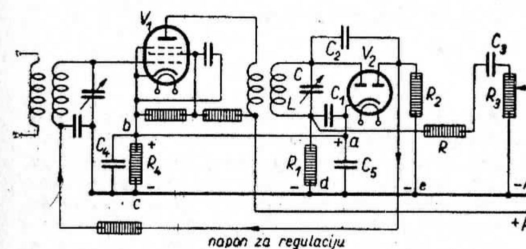
Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je svrha »odgođene« regulacije fejdinga i jakosti zvuka? *Odgovor:* Automatska regulacija smije nastupiti tek onda, kad je ulazni visokofrekventni napon toliki da dostaje za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke. — *P.:* Koje su prednosti odgođene regulacije? *O.:* Mogućnost prijema također i slabijih odašiljača punom jakošću zvuka, jer automatska regulacija ne nastupa kod malenih ulaznih napona. — *P.:* Kako se može postići odgađanje procesa regulacije? *O.:* Anodi diodnog ispravljača, koji proizvodi regulacioni napon, daje se negativni prednapon (napon odgađanja). — *P.:* Koliki smije da bude ovaj prednapon? *O.:* Jednak tjemenoj vrijednosti visokofrekventnog napona na demodulatoru, koji je potreban za potpuno uzbuđenje izlazne elektronke. — *P.:* Kada nastupa automatska regulacija kod odgođenog procesa? *O.:* Kad je tjemena vrijednost visokofrekventnog napona na diodnom ispravljaču veća od napona odgađanja. — *P.:* Zašto se kod odgođene regulacije moraju upotrebljavati duodiode? *O.:* Jer demodulacija i proizvođenje regulacionog napona moraju da budu međusobno odijeljeni. Kod demodulacije se ne smije primijeniti napon odgađanja.

230. — U odsjeku 228. već smo govorili da se stvarna krivulja regulacije ne podudara s idealnom (vidi sl. 171). Usprkos automatskoj regulaciji bit će dakle još kod prijema izvjesnih promjena u jakosti zvuka, iako one možda neće biti velike. Jednostavnim spojevima za regulaciju nemoguće je postići savršenu krivulju regulacije. Što je naime veći regulacioni napon potreban za smanjenje visokofrekventnog pojačanja, to veći mora da bude i visokofrekventni napon na demodulatoru, da bi se željeni regulacioni napon stvarno postigao. Posljedica toga je međutim da ćemo i na diodni dio koji se upotrebljava za demodulaciju morati dovoditi veće visokofrekventne napone, pa će niskofrekventni napon, a prema tome i jakost zvuka, također rasti. Ovu manu može se gotovo posvema otkloniti ako se automatska regulacija protegne i na *niskofrekventni* dio prijemnika. Kod dosadašnjih načina regulacije radilo se je uvijek o *regulaciji unatrag*, jer se regulacioni napon, koji se dobivao na demodulatoru, prenosio na visokofrekventni dio pred njim, *natrag.* Za razliku od toga govorimo o regulaciji *unaprijed* u slučajevima kad se regulacioni napon prenosi na niskofrekventni dio, koji se nalazi *iza* demodulatora. Regulacija elektronki u niskofrekventnom dijelu ne mora da bude naročito velika (oko 1 : 6 do 1 : 10). Gotovo savršena krivulja regulacije dade se postići tako da u prijemniku imamo na primjer tri elektronke regulirane unatrag i jednu reguliranu unaprijed u niskofrekventnom dijelu, uz pretpostavku da smo upotrijebili prikladne elektronke. O ovome ćemo međutim govoriti opširnije, kad bude govora o super-prijemnicima.

231. — Potrebno je upozoriti na još jedno neugodno svojstvo prijemnika s automatskom regulacijom: ako je naime jakost polja nekog odašiljača na mjestu prijema tako malena da su smetnje jače od njih,

čuje se u zvučniku naročito jako pucketanje. To je i razumljivo, jer prijemnik radi s najvećim stupnjem pojačanja uz vrlo malene ulazne napone. Osim toga u prijemu smeta i pojava da se prilikom traženja stanica, dok se prelazi s jedne prijenosne frekvencije na drugu, smetnje punom snagom pojačavaju. Svaka smetnja odgovara u neku ruku odašiljaču sa 100%-tnom modulacijom. Ima međutim raznih spojeva kojima se u znatnoj mjeri dadu ove mane otkloniti. Radi se o takozvanom *nečujnom ugađanju.* Najjednostavniji postupak sastoji se u tome da se rukom regulator jakosti zvuka u visokofrekventnom pojačalu tako namjesti, da se samo odašiljači kod kojih je jakost polja iznad nivoa lokalnih smetnji mogu primati. Pri tome se dakako odustaje uopće od prijema svih slabijih stanica. Mjesto ovog postupka, koji u stanovitim prilikama znatno ograničava mogućnosti prijema, često se upotrebljava i posebno dugme pritiskom kojeg se za vrijeme ugađanja jednostavno kratko spaja niskofrekventni dio prijemnika.



Sl. 173.

232. — Ima međutim mnogo načina kod kojih dolazi do *automatskog* zakočenja niskofrekventnog dijela, čim je ulazni napon prijemnika prenizak. Jednostavan primjer jednog ovakvog uređaja prikazan je na sl. 173. Ovaj spoj ima izvjesnih sličnosti sa spojem na sl. 172. Katoda duodiode V_2 spojena je ovaj put s katodom regulacione pentode V_1, pa je tačka na katodi diode *a* pozitivnija od tačke *c*, koja je spojena s minus-polom, za pad napona na otporniku R_4, koji daje temeljni prednapon U_{g1} elektronki V_1. Kako su tačke *c*, *d* i *e* međusobno vezane, a preko opteretnog otpora R_1 odnosno R_2, vezane su i s anodama duodiode, imaju obje anode negativni prednapon (zaporni napon) U_{g1}, i to u slučaju da kroz duodiodu ne teče struja. Ako je tjemena vrijednost visokofrekventnog napona na anodama demodulatora manja od U_{g1}, nema ni demodulacije ni proizvođenja regulacionog napona, pa se iz zvučnika ne čuje nikakav zvuk. Osim toga ne može ni fejding-regulacija kod velikih prijemnika uslijed napona smetnji od toplinskih šumova biti isključena. Ako je međutim odašiljač koji primamo toliko jak da visokofrekventni napon na demodulatoru prelazi svojom tjemenom vrijednošću vrijednost zapornog napona U_{g1}, postat će duodioda aktivna. Procesom regulacije bit će uvjetovano smanjenje ukupne struje elektronke V_1 (vidi odsjek 219), pa će i osnovni prednapon U_{g1}, koji je jednak padu napona na R_4, biti manji, a kod prijema vrlo jakih odašiljača gotovo jednak nuli. Time se u isto vrijeme otklanjaju i izobličenja koja bi inače mogla nastupiti, u slučaju kad bi najniže tjemene vrijednosti moduliranih visokofrekventnih napona, kod odaši-

ljača koji su jako modulirani, spale ispod vrijednosti zapornog napona i uslijed toga bile potisnute. U ostalim vrijednostima podudara se spoj sa sl. 173. s onim sa sl. 172. Kondenzator $C_5 = 1$ do 2 μF, uzemljuje niskofrekventno katodu *a*, i istodobno djeluje kao kratki spoj za napone smetnji, koji kroz žarnu nit duodiode dolaze iz mreže.

Ponavljanje.

Promjene u jakosti zvuka, koje se pojavljuju kod običnih spojeva za regulaciju fejdinga i jakosti zvuka, mogu se gotovo posve otkloniti ako se regulacija vrši u niskofrekventnom dijelu prijemnika. Regulacija visokofrekventnog dijela naziva se regulacija *unatrag*, a regulacija niskofrekventnog dijela regulacija *unaprijed*. Mana je automatske regulacije da se kod prijema slabih stanica ističu vanjske smetnje, i to naročito onda kad se kod traženja stanica prelazi s jedne na drugu. Pomoć u ovakvim slučajevima pruža *nečujno ugađanje*, koje se u najjednostavnijem slučaju sastoji od ručnog regulatora glasnoće u visokofrekventnom dijelu, ili dugmeta kojim se za vrijeme ugađanja može kratko spojiti niskofrekventni dio prijemnika. Pri *automatskom nečujnom ugađanju* daje se na demodulator negativni prednapon (zaporni napon), kojemu je veličina ovisna o jakosti polja. Demodulacija nastupa samo onda kad je tjemena vrijednost visokofrekventnog napona na demodulatoru veća od zapornog napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod regulacijom unatrag, odnosno unaprijed kod prijemnika? *Odgovor:* Kod regulacije unatrag regulira se visokofrekventni dio prijemnika koji se nalazi pred demodulatorom, a kod regulacije unatrag niskofrekventni dio koji se nalazi iza demodulatora. — *P.:* Što je svrha regulacije unaprijed? *O.:* Ona mora da izjednači promjene u glasnoći, koje još preostanu od regulacije unatrag. — *P.:* Kakav utjecaj ima automatska regulacija na prilike u pogledu smetnji kod prijemnika? *O.:* Smetnje će se kod slabih odašiljača, a naročito kod ugađanja, jako isticati. — *P.:* Kako se ova mana može ublažiti? *O.:* Upotrebom nečujnog ugađanja. — *P.:* Koji su najjednostavniji postupci nečujnog ugađanja? *O.:* Ručni regulator glasnoće, kojim se može smanjiti ukupna osjetljivost prijemnika ili kratko spajanje niskofrekventnog dijela za vrijeme ugađanja. — *P.:* Kako djeluje automatsko nečujno ugađanje? *O.:* Demodulator je negativnim prednaponom zakočen sve dotle, dok visokofrekventni napon na njemu ne postane veći od nivoa smetnji

Pitanja

111. Kako se dobiva napon odgađanja kod automatske regulacije fejdinga i jakosti zvuka?

112. Na koji način dobivamo krivulju regulacije koja ima oblik najbliži idealnom obliku?

113. Čime se objašnjava velika osjetljivost na smetnje prijemnika s regulacijom fejdinga za vrijeme ugađanja ili primanja slabih odašiljača?

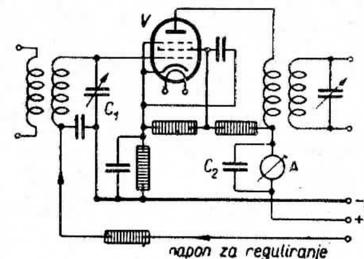
Zadaci

82. Prijemnik s automatskom regulacijom fejdinga i jakosti zvuka i automatskim nečujnim ugađanjem ima, kad nije reguliran, 50 000-struko visokofrekventno pojačanje. Zaporni napon za nečujno ugađanje uzima se s katodnog otpora od tri kilooma jedne regulirane elektronke. Ova elektronka ima najveću jakost anodne struje 1,2 mA i najveću jakost struje zaslonske rešetke 0,5 mA: a) Koliki je najveći zaporni napon? b) Kod koje efektivne vrijednosti visokofrekventnog napona na duodiodnom demodulatoru počinje demodulacija? c) Kod koje najniže efektivne vrijednosti antenskog napona može ovakav prijemnik primati?

Optički indikator za ugađanje

233. — Prijemnik omogućuje selektivan i tonski besprijekoran prijem jedino onda, kad je aparat ugođen tačno na frekvenciju odašiljača koji želimo primati. Ovo *ugađanje oštrine* vrši se kod prijemnika bez regulacije fejdinga najčešće na sluh. Odašiljač koji se želi primati traži se jednostavno tako, da se od prijemnika nastoji dobiti najveću jakost zvuka. Ovakav način bio bi međutim kod velikih, vrlo selektivnih prijemnika s regulacijom fejdinga prilično težak, jer tu nije moguće izvršiti ugađanje jedino prema razlici jakosti zvuka. Ako naime prijemnik nije ugođen tačno na prijenosnu frekvenciju odašiljača, nego na jednu od bočnih frekvencija, morala bi jakost zvuka biti znatno manja zbog strmine dotične grane krivulje rezonancije. Kod prijemnika s automatskom regulacijom fejdinga toga međutim neće biti, jer će uređaj za regulaciju fejdinga podići jakost zvuka opet na vrijednost koja je bila i u rezonanciji. Jakost zvuka dobit ćemo dakle usprkos netačnom ugađanju, ali će zato pod stanovitim okolnostima doći do vrlo jakih linearnih (a i nelinearnih) izobličenja, koja će se očitovati u promjenama boje zvuka. Ugađanje oštrine na sluh bilo bi dakle neugodno, i za uho bez dovoljnog iskustva teško. Ovo naročito vrijedi za prijemnik s pojasnim filtrima.

234. — Za ispravno ugađanje na prijenosnu frekvenciju konstruirani su različiti *indikatori* koji optički pokazuju rezonanciju i omogućuju lagano ugađanje. Najjednostavniji indikator je mali *ampermetar A*, koji se nalazi u anodnom krugu regulirane elektronke *V* (sl. 174), a premošten je kondenzatorom C_2 (oko 0,1 μF), koji služi kao kratki spoj za visokofrekventne struje. Tako dugo dok prijemnik nije ugođen ni na kakav odašiljač, otklon instrumenta je velik, jer tada elektronka V_1 ima radnu tačku na najstrmijem dijelu radne karakteristike. No onda kad primamo neki odašiljač naraste negativni prednapon prve rešetke uslijed djelovanja automatske regulacije fejdinga, pa anodna struja postaje manja. Promjenljivi kondenzator C_1 mora se dakle prilikom ugađanja tako postaviti, da je otklon kazaljke instrumenta *A* što

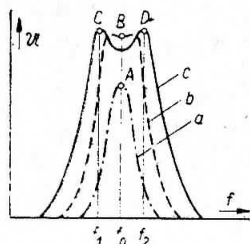


Sl. 174.

manji. Na taj način možemo dakle prijemnik ugoditi na željenu prijenosnu frekvenciju posve optički. Ovo ima naročito kod nečujnog ugađanja (vidi odsjek 231) veliko značenje, jer se prijemnik na željeni odašiljač može tačno ugoditi i bez opterećivanja niskofrekventnog dijela raznim šumovima kod kratkog spajanja, kao i bez zatvaranja regulatora jakosti zvuka u niskofrekventnom dijelu. Jakost anodne struje regulirane elektronke je to manja, što je veća amplituda izmjeničnog napona na uzbudnoj rešetki, pa se otklon kazaljke instrumenta indikatora može u isto vrijeme upotrijebiti za procjenjivanje jakosti polja. Možemo dakle već prema otklonu kazaljke vidjeti da li se primanje željenog odašiljača uopće isplati, jer se kod malene jakosti polja mora računati s jakim atmosferskim i ostalim smetnjama.

235. — Veći prijemnici imaju često i regulator širine pojasa, kojim se omogućuje promjena širine pojasa frekvencija u izvjesnim granicama (vidi odsjek 215). U ovakvim slučajevima mora se ugađanje oštrine na prijenosnu frekvenciju f_0 odašiljača, koji želimo primati, izvršiti *uvijek uz najmanju širinu pojasa,* dakle na tačku *A* uske krivulje rezonancije *a* na sl. 175. *(vidi sl. 160).* U protivnom slučaju neće ono što pokazuje indikator odgovarati rezonantnoj frekvenciji pojasnog filtra. Pri normalnoj širini pojasa, kojoj odgovara krivulja rezonancije *b* (kritična veza), potrebno je ugađanje izvesti na tačku *B.* Ono međutim nije u ovom slučaju više tako oštro kao u prvome, jer je krivulja rezonancije *b* u svom gornjem dijelu prilično plosnata. Ako međutim prijemnik radi s najvećom širinom pojasa (nadkritična veza), imat ćemo kod optičkog indikatora dvije tačke *C* i *D* na krivulji rezonancije *c*, za koje će otklon biti jednako malen. Pri tome smo dakle izvršili ugađanje na bočne frekvencije f_1 i f_2 i imamo izobličen prijem.

236. — Kazaljka ampermetra često se zamjenjuje malom pločicom koja je pokretna i osvijetljena malom žaruljicom. Na taj način nastaje *indikator sa sjenom.* Već prema položaju pločice imat ćemo na mutnoj ploči širu ili užu sjenu te pločice. Pločica sama postavljena je tako, da se ugađanje vrši uvijek na najmanju širinu sjene. Osim toga upotrebljavaju se i *indikatori s tinjalicom.* Ovakav indikator sastoji se od male tinjalice (vidi dio I, odsjek 237) koja je spojena paralelno s demodulatorom i pokazuje rezonantni napon titrajnog kruga ispred demodulatora. Katoda, koja ima oblik štapića, pokrivena je tinjavim svjetlom na to većoj duljini, što je veći napon regulacije, što je dakle tačnije ugođenje na rezonantnu tačku.



Sl. 175.

Ponavljanje

Ugađanje prijemnika na željenu frekvenciju mora da bude izvršeno vrlo pažljivo kako bi selektivnost i vjernost reprodukcije bile što veće

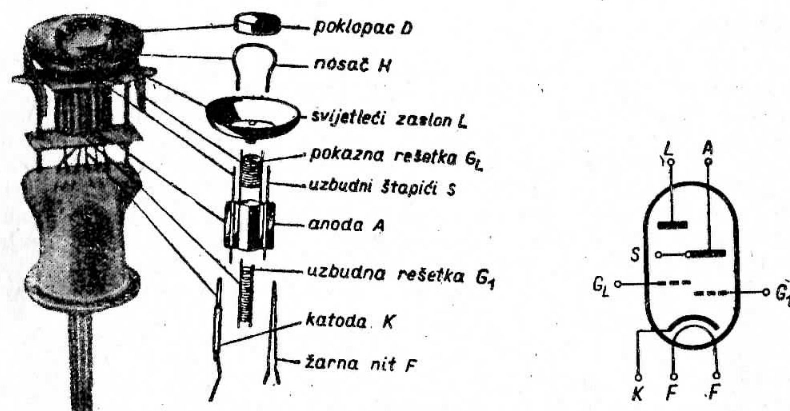
Kod prijemnika s automatskom regulacijom fejdinga pruža ugađanje na najveću jakost zvuka poteškoće, jer glasnoća ostaje ista i onda ako smo prijemnik ugodili na jednu bočnu frekvenciju, samo što pri tome dolazi do izobličenja. Ugađanje se za to vrši uz pomoć *indikatora,* koji omogućuje optičku indikaciju ugađanja. Što je tačnije ugađanje prijemnika na prijenosnu frekvenciju odašiljača, to manja će biti jakost anodne struje uslijed djelovanja automatske regulacije fejdinga kod regulirane elektronke u visokofrekventnom pojačalu. Prijemnik se dakle mora ugoditi na najmanji otklon *ampermetra,* koji služi kao indikator. Ako prijemnik ima regulator širine pojasa, mora se ugađanje izvesti uvijek uz najmanju širinu pojasa. Kao indikatori upotrebljavaju se i indikatori sa sjenom, kod kojih mjesto kazaljke imamo pokretnu osvijetljenu pločicu. Kod indikatora s tinjalicom služi svijetli stupac kao optički indikator. Što je taj stupac dulji, to veći je rezonantni napon na titrajnom krugu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod ugađanjem oštrine? *Odgovor:* Što tačnije ugađanje prijemnika na prijenosnu frekvenciju odašiljača koji želimo primati. — *P.:* Na koji se način može najjednostavnije izvršiti ugađanje oštrine? *O.:* Ugađanjem prijemnika na najveću jakost zvuka, dakle ugađanjem na sluh. — *P.:* Zašto je ovaj postupak neprikladan kod prijemnika s regulacijom fejdinga? *O.:* Zato što jakost zvuka u tom slučaju ostaje ista i onda, kad je prijemnik ugođen na bočne frekvencije odašiljača. — *P.:* Koje su loše posljedice toga? *O.:* Oštrina nije dovoljna, a osim toga dolazi i do izobličenja. — *P.:* Kako se to može otkloniti? *O.:* Upotrebom indikatora za ugađanje. — *P.:* Na čemu se temelji djelovanje ovakvih indikatora? *O.:* U slučaju rezonancije jakost anodne struje uslijed regulacije fejdinga je najmanja, ili je izmjenični napon na anodnom titrajnom krugu najveći; to se iskorištava za optičku indikaciju. — *P.:* Kakve smo indikatore dosada upoznali? *O.:* Ampermetar, indikator sa sjenom i indikator s tinjalicom. — *P.:* Na što treba paziti pri ugađanju prijemnika s promjenljivom širinom pojasa? *O.:* Ugađanje se mora izvršiti uvijek uz najuži pojas. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Zato što je ugađanje kod veće širine pojasa zbog plosnate ili udubljene krivulje rezonancije višeznačno, te može doći do izobličenja.

237. — Optička indikacija može da bude naročito djelotvorna upotrebom posebnih *indikatorskih elektronki* (AM 2, EM 2, EFM 11 itd.). Ovdje se radi o vrlo malenim *Braunovim* cijevima (vidi dio I, odsjek 239). Zbog naročitog svjetla ovakve elektronke obično se indikator ove vrsti naziva *»magičnim okom«.* U biti magično oko djeluje ovako: elektroni koji izlaze iz užarene katode udaraju na unutarnju stranu zaslona u obliku lijevka premazanog fluorescentnom masom (na primjer Willemit, Zn_2SiO_4). Ako elektroni imaju dovoljno veliku brzinu (ako prolaze kroz prostor u kojemu je pad napona najmanje 150 V) uzrokuju na fluorescentnoj masi, kad o nju udare, zeleno svjetlo (vidi dio I, odsjek 238), pa nastaje kružna svijetla slika. Struja elektrona može se odgovarajućim uzbudnim organima manje ili više koncentrirati. Na uzbudne organe djeluje se uzbudnim istosmjernim naponom koji je ovisan o primljenom izmjeničnom naponu.

238. — Na sl. 176. vidimo unutarnju konstrukciju i simbol za magično oko AM 2, odnosno EM 2. Vidimo odmah da je Braunova cijev (gornji dio) s običnim triodnim sistemom (donji dio) preko zajedničke katode K i žarne niti F smještena u zajednički balon. *Trioda*, koja se sastoji od katode K, uzbudne rečetke G_1 i anode A, može se u svrhu boljeg iskorištavanja ovakve elektronke upotrijebiti odvojeno za niskofrekventno pojačavanje (vidi odsjek 240). Braunova cijev, to jest *indikatorski* sistem, sastoji se od zajedničke katode K, indikatorske rešetke G_L, uzbudnih štapića S spojenih s anodom triode i ljevkastog svijetlećeg zaslona L. Elektroni koji izlaze iz katode K prolaze djelomično kroz indikatorsku rešetku G_L[48]) prema svijetlećem zaslonu L spojenom s p o-

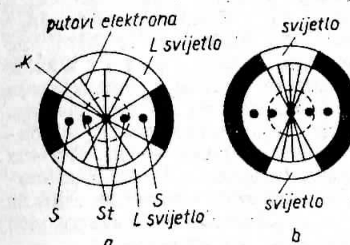


Sl. 176.

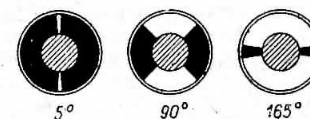
z i t i v n i m anodnim naponom (sl. 177-a). Ako je indikatorska rešetka G_L slabo p o z i t i v n a, onda će štapići St koji ovu rešetku nose imati isti napon kao i sama rešetka. Elektroni će dakle biti samo neznatno otklonjeni sa svog pravocrtnog puta. Iza oba uzbudna štapića S imat ćemo dakle dva uska zasjenjena sektora na svijetlećem zaslonu L. Usmjerivanje elektrona je dakle vrlo neznatno, pa na svijetlećem zaslonu L imamo dva široka svijetla sektora (veliki svijetli kut). Ako je prednapon indikatorske rešetke G_L i štapića St koji je drže jako n e g a t i v a n, bit će elektroni koji prolaze kroz indikatorsku rešetku, zbog odbojnog djelovanja štapića St, jako otklonjeni i koncentrirani (sl. 177-b). U tom slučaju svijetlit će samo dva uska sektora na svijetlećem zastoru L

[48]) Indikatorskom rešetkom proizvodi se oblak prostornog naboja oko katode. Uslijed toga je elektronska struja koja teče prema svijetlećem zaslonu znatno oslabljena, čime se svijetleća masa zbog neznatne jakosti udara elektrona štedi.

(mali *svijetli kut*). Ako je negativni prednapon indikatorske rešetke G_L dovoljno velik, bit će svijetleći zaslon gotovo posve taman. Širina svijetlog kuta bit će dakle ovisna o prednaponu indikatorske rešetke G_L, a i o pozi-



Sl. 177.



Sl. 178.

tivnom naponu uzbudnih štapića S. Uzbuđivanje se dakle može izvršiti ili uzbudnim štapićima ili indikatorskom rešetkom kao *jednostavno* uzbuđenje, ili i jednim i drugim istodobno kao *dvostruko* uzbuđenje. Potrebni uzbudni istosmjerni naponi su neznatni zbog jako male brzine elektrona, pa za uzbuđivanje dostaje i napon koji dobivamo na demodulatoru prijemnika. Ako se prednapon indikatorske rešetke kod napona svijetlećeg zaslona $U_L = 250$ V mijenja između $U_{GL} = +3$ V i -6 V, mijenjat će se širina svijetlog kuta između nekih 5° i 165° (vidi sl. 178)[49]). Na ovaj način dobiven je indikator koji je jednako dobar za male kao i za velike ulazne napone. Ugađanje se vrši uvijek tako da je svijetli kut što v e ć i.

Ponavljanje

Indikatorska elektronka (magično oko) predstavlja naročito upadljiv optički indikator. Indikatorska elektronka AM 2 ima u zajedničkom balonu preko zajedničke katode indikatorski sistem (mala Braunova cijev) i triodni sistem. Elektroni koji izlaze iz katode udaraju u ljevkast zaslon prevučen fluorescentnom masom i uzrokuju svjetlost. Struja elektrona može se upravljati u indikatorskom sistemu indikatorskom rešetkom i pomoću dva uzbudna štapića vezana s anodom triodnog sistema. Što je manji negativni prednapon indikatorske rešetke, to slabije je otklanjanje i koncentriranje elektrona, pa se na svijetlećem zaslonu pojavljuju dva široka svijetla sektora. Što je negativnija indikatorska rešetka, to je svijetli kut manji. Napon za upravljanje struje elektrona može se uzeti s demodulatora, pa će prema tome biti ovisan o veličini ulaznog visokofrekventnog napona. Velik ulazni napon stvarat će velik svijetli kut.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje prednosti ima indikatorska elektronka? *Odgovor:* Ona omogućuje naročito djelotvornu optičku indikaciju. — *P.*: Kako je u biti građena indikatorska elektronka AM 2? *O.*: Indikatorski sistem i triodni sistem smješteni su sa zajedničkom katodom u jedan balon. — *P.*: Od

[49]) Srednji iscrtkani krug predstavlja kapicu D pričvršćenu nosačem H (vidi sl. 176). Ona optički pokriva gornji dio katode K, kako svjetlo žarne niti odnosno katode ne bi smetalo pri promatranju svijetlećeg zaslona L.

kojih se dijelova sastoji indikatorski dio? *O.*: Od katode, indikatorske rešetke, dvaju uzbudnih štapića i svijetlećeg zaslona; iznad otvora u svijetlećem zaslonu nalazi se mali poklopac. — *P.*: Kakvo je djelovanje indikatorskog sistema na struju elektrona? *O.*: Elektroni će biti, već prema naponu indikatorske rešetke i uzbudnih štapića, jače ili slabije otklonjeni, odnosno koncentrirani. — *P.*: Kako se očituje koncentriranje elektrona? *O.*: Na svijetlećem zaslonu pojavljuju se dva svijetla sektora. — *P.*: U kakvom je odnosu veličina svijetlog kuta prema oštrini ugađanja? *O.*: Pri ispravnom ugođenju svijetli je kut najveći. — *P.*: Otkuda indikatorska rešetka dobiva uzbudni istosmjerni napon? *O.*: Od demodulatora. — *P.*: Kad je osjetljivost indikatorske elektronke naročito velika? *O.*: Kad se upravljanje struje elektrona s indikatorskog sistema vrši istodobno indikatorskom rešetkom i štapićima za upravljanje.

Pitanja

114. Kada se kod indikatora može govoriti o »optičkom« ugađanju?

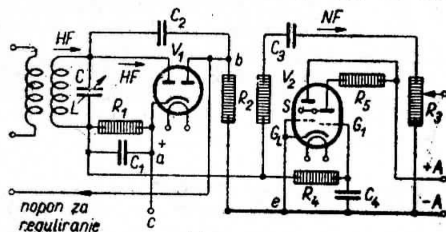
115. Kako dolazi do toga da svijetleći zastor indikatorske elektronke svijetli?

116. U kojim granicama se praktički može mijenjati svijetli kut indikatorske elektronke AM 2?

Zadaci

83. Mjerenja na indikatorskoj elektronki AM 2 uz anodni napon i napon svijetlećeg zaslona 250 V, te kod prednapona na indikatorskoj rešetki +3 V, +1 V, 0 V, —1,5 V, —2,5 V, —3,5 V, —4,5 V dala su svijetli kut od 160°, 155°, 150°, 137,5°, 125°, 107,5°, 75°; kod napona svijetlećeg zaslona od 250 V i napona na anodi od 100 V bili su kutovi uz iste prednapone na indikatorskoj rešetki kao prije samo 137,5°, 128°, 120°, 100°, 79°, 50° i 15°: a) Nacrtaj ovisnost svijetlećeg kuta α o prednaponu indikatorske rešetke U_{GL}. b) Između kojih vrijednosti moramo mijenjati prednapon na indikatorskoj rešetki, ako širina svijetlog dijela mora da se popne sa 93° na 155°, a pri tome da su naponi na svijetlećem zaslonu i na anodi 250 V? c) Između kojih vrijednosti se mijenja kut svijetle površine uz napon svijetlećeg zaslona 250 V, ako pri tome anodni napon snizimo sa 250 V na 100 V, a indikatorsku rešetku spojimo direktno s katodom?

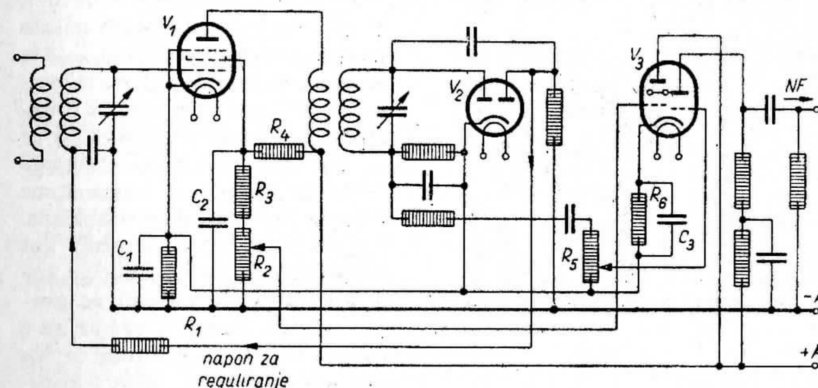
239. — Sad ćemo ukratko nešto reći o najvažnijim spojevima indikatorske elektronke AM 2. Na sl. 179. imamo primjer jednostavnog uzbuđivanja u z b u d n i m š t a p i ć i m a. Pri tome je za osnovicu uzet spoj visokofrekventnog pojačala s odgođenom fejding-regulacijom (vidi sl. 172). Indikatorska rešetka G_L indikatorske elektronke V_2 vezana je direktno na katodu, pa prema tome radi bez ikakvog prednapona. Uzbudna rešetka G_1 triodnog sistema dobiva istosmjerni uzbudni napon preko filtarskog spoja s otporom $R_4 = 1\ M\Omega$ i $C_4 = 0{,}1\ \mu F$ (za potiskivanje niskofrekventnih napona!) s opteretnog otpora R_1 i duodiode V_1. Ovaj uzbudni



Sl. 179.

napon uzima se dakle kao napon b e z o d g a đ a n j a (vidi odsjek 229), a time se izbjegava opasnost da se indikacija kod slabih odašiljača naponom regulacije s odgađanjem potisne. U tački c katode elektronke V_1 uzima se napon o d g o đ e n e regulacije (isporedi odsjek 172). Kako uzbudni istosmjerni napon uzet s demodulatora ovisi o ugađanju prijemnika, dobivat će uzbudna rešetka G_1 promjenljivi negativni prednapon. Promjene anodnog napona triodnog dijela, koje su time uzrokovane, stvarat će na anodnom otporu $R_5 = 0{,}1$ do $0{,}5\ M\Omega$ promjenljiv pad napona, pa će se na taj način i anodni istosmjerni napon u odgovarajućoj mjeri mijenjati. Uzbudni štapići S spojeni s anodom slijedit će također ove promjene napona, pa će i struja indikatorskog sistema elektronke V_2 biti na taj način uzbuđivana. Uslijed toga će se mijenjati i veličina osvijetljene površine elektronke V_2, što smo upravo i željeli.

240. — Na sl. 180. vidimo dalje primjer spajanja indikatorske elektronke AM 2 kod koje se triodni sistem iskorištava o d v o j e n o za niskofrekventno pojačavanje. Za razliku od spoja na sl. 179. ovdje se uzbuđivanje indikatorskog dijela vrši i n d i k a t o r s k o m rešetkom.

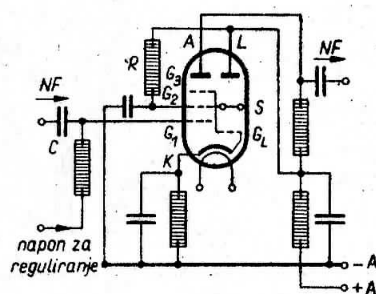


Sl. 180.

Uzbudni istosmjerni napon za indikatorsku rešetku elektronke V_3 uzima se s djelitelja napona $R_2 + R_3 + R_4$ zaslonske rešetke regulirane elektronke V_1, koja služi za visokofrekventno pojačavanje. Anodna struja i struja zaslonske rešetke kod elektronki s regulacijom fejdinga bit će ovisne o ispravnom ugađanju (vidi odsjek 219), pa postizavaju svoju n a j n i ž u vrijednost kod ispravnog ugađanja oštrine zbog negativnog napona regulacije, koji je tada najveći. U tom je slučaju i pad napona na otporniku R_4 kroz koji teče anodna struja najmanji, a na otpornicima $R_2 + R_3$, koji su premošteni kondenzatorom C_2, najveći (porast napona zaslonske rešetke). Što je tačnije ugađanje prijemnika na prijenosnu frekvenciju odašiljača, to jače raste pad napona na otporu R_3 i promjenljivom otporu R_2 (oko 500 Ω). Kako se jedan dio pozitivnog napona sa R_2 dovodi indikatorskoj rešetki, porast će veličina osvijetljene površine elektronke V_3

također s porastom napona na R_2. Pojačanjem regulacije smanjuje se istodobno i osnovni negativni prednapon elektronke V_1 koji nastaje na katodnom otporu R_1. Time se također utječe na uzbuđivanje indikatora. Elektronka V_3 dobiva preko katodnog otpora R_6 (oko 3 kΩ) premoštenog kondenzatorom C_5 (oko 4 μF) osnovni negativni prednapon za triodni sistem. Time se istodobno smanjuje preostali svijetli dio površine u vrijeme kad bi ta površina trebala da bude tamna. Niskofrekventni naponi dovode se uzbudnoj rešetki preko niskofrekventnog regulatora jakosti zvuka R_5. Spoj duodiode V_2 odgovara posve onima sa sl. 172. i 179. Triodni dio elektronke V_3 spojen je kao jednostavno otporno pojačalo i može se priključiti direktno na izlazni stupanj ili na slijedeći stupanj niskofrekventnog pojačala.

241. — Kod nove indikatorske elektronke EFM 11 indikatorski je dio ugrađen sa zajedničkom katodom u zajednički balon s p e n t o d o m mjesto triode (sl. 181). Zaporna rešetka G_3 i indikatorska rešetka G_L su unutar same elektronke spojene s katodom K. Pentodni dio služi za niskofrekventno pojačavanje i konstruiran je za regulaciju »unaprijed« (vidi odsjek 230). Zaslonska rešetka G_2 vezana je s uzbudnim štapićima S, koji se i kod ovog dijela nalaze pred svijetlećim zaslonom L. Što je veći regulacioni napon, to manji će biti pad napona na predotporu zaslonske rešetke R, pa će to veći biti napon te elektrode (vidi odsjek 240), a prema tome i napon na uzbudnim štapićima. Uslijed toga će se povećati kut osvijetljene površine. Veličinu kuta osvjetljenja određivat će prema tome napon z a s l o n s k e r e š e t k e. Uzbudna rešetka G_1 pentodnog sistema dobiva regulacioni napon s demodulatora, dok se niskofrekventni napon NF na rešetku G_1 dovodi preko kondenzatora C. Indikatorska elektronka EFM 11 ističe se posebno time da svijetlo polje ima vrlo oštre rubove na čitavom području indikacije.



Sl. 181.

Ponavljanje

Ako se uzbuđenje indikatorskog sistema indikatorske elektronke AM 2 mora izvršiti u z b u d n i m š t a p i ć i m a, onda se uzbudnoj rešetki triodnog dijela dovodi istosmjerni uzbudni napon s demodulatora, a taj je ovisan o ugađanju prijemnika. Omskim otporom u anodnom krugu triode postizava se to, da uzbudni štapići slijede varijacije napona na anodi, pa se na taj način u odgovarajućem smislu utječe na veličinu kuta osvijetljene površine indikatorskog sistema. Triodni sistem indikatorske elektronke AM 2 može se upotrijebiti i za o d v o j e n o niskofrekventno pojačavanje. U tom slučaju vrši se uzbuđivanje indikatorskog sistema i n d i k a t o r s k o m rešetkom. Uzbudni istosmjerni napon, koji je za to potreban, uzima se s jednog dijela djelitelja napona zaslonske rešetke regulirane elektronke koja vrši visokofrekventno pojačavanje. Ovaj uzbudni istosmjerni napon ovisan je o jakosti struje zaslonske rešetke, koja opet sa smanjenjem regulacije postaje manja. N o v a indikatorska elektronka EFM 11 također je kombinirana elektronka, koja preko zajedničke katode ima indikatorski i pentodni sistem. Pentodni sistem može služiti za odijeljeno niskofrekventno pojačavanje, a po svojoj karakteristici dozvoljava i regulaciju unaprijed. Upravljanje kuta svijetle površine vrši se promjenljivim naponom zaslonske rešetke koja je spojena s uzbudnim štapićima.

Pitanja i odgovori

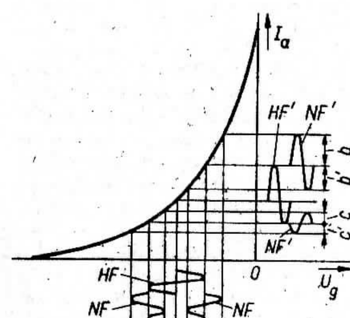
Pitanje: Kako u principu mora da bude spojena indikatorska elektronka AM 2 kod uzbuđivanja indikatorskog dijela uzbudnim štapićima? *Odgovor:* Indikatorska rešetka spojena je s katodom, a uzbudnoj rešetki triodnog dijela dovodi se uzbudni istosmjerni napon preko filtra s otporima; taj napon ovisan je o ugađanju prijemnika. — *P.:* Otkuda dobivamo istosmjerni uzbudni napon? *O.:* S demodulatora, ali ne kao odgođeni napon regulacije. — *P.:* Kako u tom slučaju dolazi do upravljanja kuta svijetle površine? *O.:* U anodnom krugu triodnog dijela imamo omski otpor, koji uslijed promjena napona na uzbudnoj rešetki uzrokuje promjene anodnog napona; uzbudni štapići, koji su spojeni s anodom, slijede te promjene napona, pa se time upravlja struja indikatorskog sistema, a uslijed toga i širina svijetle površine. — *P.:* Kako dolazi do uzbuđivanja indikatorskog dijela, ako se triodni dio upotrebljava za niskofrekventno pojačavanje odvojeno? *O.:* Indikatorskom rešetkom. — *P.:* Otkuda dobiva indikatorska rešetka uzbudni istosmjerni napon? *O.:* S djelitelja napona zaslonske rešetke regulirane pentode, koja vrši visokofrekventno pojačavanje. — *P.:* Kako ovisi uzbudni istosmjerni napon dobiven na ovaj način o ugađanju prijemnika? *O.:* Pri ispravnom ugađanju je negativni regulacioni napon najveći, a jakost struje zaslonske rešetke najmanja. Uslijed toga raste napon zaslonske rešetke, a istodobno i uzbudni istosmjerni napon, pa svijetla površina postaje veća. — *P.:* Kako je građena indikatorska elektronka EFM 11? *O.:* Preko zajedničke katode imamo kod ove elektronke jedan pentodni i jedan indikatorski dio. — *P.:* Čemu služi pentodni dio? *O.:* Za odijeljeno niskofrekventno pojačavanje s regulacijom unaprijed. — *P.:* Kako dolazi do upravljanja veličine kuta svijetle površine kod ove indikatorske elektronke? *O.:* Naponom na uzbudnim štapićima, koji je istodobno i napon zaslonske rešetke pentodnog dijela. Ovaj je ovisan o regulacionom naponu na uzbudnoj rešetki.

Izobličenja modulacije i modulacija brujanjem

242. — Nelinearna izobličenja, koja nastaju u elektronkama za visokofrekventno pojačavanje, naročito su neugodna jer se ne daju, za razliku od onih koje imamo kod niskofrekventnog pojačavanja, nikakvim spojevima za smanjenje izobličenja ukloniti. Ova izobličenja prouzrokovana su, isto kao i ona u niskoj frekvenciji, z a k r i v l j e n j e m radne karakteristike (vidi odsjek 60 sl. 48 i odsjek 108). Savršeno r a v n a karakteristika ima svagdje jednaku strminu i ne bi prema tome uzrokovala nikakvo izobličenje. Ovakva karakteristika ne da se međutim upotrijebiti kod regulacija fejdinga i jakosti zvuka, jer zbog jednake strmine nije moguća regulacija. Regulacija se, kako znamo, osniva na smanjenju strmine, pa

prema tome radna karakteristika mora da bude zakrivljena. Uslijed toga mogu nastati velika nelinearna izobličenja (vidi odsjek 217), koja su prema odsjeku 218. i sl. 163. najmanja ako karakteristika ima eksponencijalan oblik.

243. — Upoznat ćemo se najprije s *izobličenjem modulacije:* Modulirani visokofrekventni titraji sastoje se od prijenosne frekvencija i frekvencija bočnih pojaseva (vidi dio I, odsjek 190). Kako uz pomoć sl. 182. vidimo, uzrokuju niskofrekventni modulacioni titraji *NF*, koji su superponirani prijenosnim titrajima *HF*; promjene anodne struje *NF'* (vidi dio I, sl. 145-b). Dok su obje amplitude *a* dovedenih modulacionih titraja jednako velike, razlika je između odgovarajućih amplituda anodne struje *b* i *b'*, odnosno *c* i *c'*, velika. Pri tome se mijenja ne samo stupanj modulacije (vidi dio I, odsjek 193), nego uslijed promjene oblika titraja *NF'* nastaju i *nelinearna izobličenja*, koja dovode do stvaranja novih bočnih frekvencija, kojih u prvotnim titrajima nije bilo (vidi odsjek 108). Pri tome će se naravno na slijedeći stupanj pojačala prenijeti samo one bočne frekvencije, koje se nalaze unutar širine pojasa koji može propustiti ugođeni anodni titrajni krug. Ovako nastala nelinearna izobličenja određena su *faktorom izobličenja modulacije* k_m. Faktor k_m daje procentualni iznosi drugog harmoničnog titraja osnovne modulacione frekvencije nastalog zakrivljenošću karakteristike i odgovara prema tome faktoru k_2 u odsjeku 110. No može se mjesto toga dati i *faktor modulacije M* (ne smije se zamijeniti sa stupnjem modulacije *m!*). *M* je jednak odnosu diferencije $(S_1—S_2)$ prema sumi (S_1+S_2), gdje su S_1 i S_2 granične strmine aktivnog dijela radne karakteristike $U_g—I_a$. Kod većih zahtjeva na vrijednost reprodukcije mora *M* biti manje ili jednako 20% (za čitavi prijemnik, dakle s niskofrekventnim dijelom uključivo), a k_m manje ili jednako 3%. Općenito se $k_m : M$ odnosi kao 1 : 7. Ako je na primjer izobličenje modulacije $k_m = 2\%$, tada će kod stupnja modulacije $m = 100\%$ nastati modulacioni titraji dvostruke frekvencije s tjemenom vrijednošću koja iznosi 2% od amplitude modulacije. Ako je međutim $m = 30\%$, imat ćemo $k_m' = m \cdot k_m = 0{,}30 \times 2 = 0{,}60\%$. Kako izobličenja modulacije rastu s kvadratom izmjeničnog napona na rešetki, to će izobličenja modulacije kod dva puta većeg izmjeničnog napona na rešetki biti četvorostruka, što u našem slučaju znači $4 \times 0{,}60 = 2{,}4\%$. Iz toga slijedi da visokofrekventni napon na uzbudnoj rešetki regulirane elektronke ne smije zbog velike zakrivljenosti karakteristike da bude prevelik (vidi odsjek 218). Kako matematsko izračunavanje veličina k_m i *M* ne odgovara posve stvarnim odnosima, nećemo davati podatke o jednadžbama potrebnima za taj račun. U praksi se izobličenje modulacije dobiva iz krivulja izobličenja, koje slijede iz mjerenja, pa prema tome odgovaraju stvarnim svojstvima karakteristika. Uostalom moramo se uvijek držati uputa koje pojedine tvornice daju kao najpovoljnije radne uvjete za odgovarajuće elektronke.



Sl. 182.

244. — Zakrivljenost radne karakteristike elektronke, koja vrši visokofrekventno pojačavanje, može da dovede do nepoželjne modulacije visokofrekventnih primljenih titraja niskofrekventnim smetnjama. Tada govorimo o *modulaciji brujanjem* m_b primljenih titraja. Smetnje (napon brujanja) mogu nastupiti uslijed nedovoljnih filtriranja pogonskih istosmjernih napona u mrežnom dijelu prijemnika ili kapacitivnom vezom uzbudne rešetke elektronke, koja vrši visokofrekventno pojačanje, s mrežnim dijelom ili neoklopljenim vodom k zvučniku. Kod ravne radne karakteristike bile bi smetnje neškodljive, jer titrajni krug koji se nalazi u anodnom krugu elektronke predstavlja za niskofrekventne titraje kratki spoj, pa smetnje koje imaju karakter niskofrekventnih titraja ne bi mogle doći na rešetku slijedeće elektronke u pojačalu. Kako je međutim radna karakteristika u stvari zakrivljena, nastaju uslijed titraja koji predstavljaju smetnje novi bočni titraji, pa na taj način primljeni visokofrekventni titraji bivaju smetnjama *modulirani.* Modulacija brujanjem može se u znatnoj mjeri smanjiti dobrim filtriranjem pogonskih istosmjernih napona i oklapanjem kritičnih vodova (krug rešetke!). Iznosi li na primjer modulacija brujanja $m_b = 2\%$, to znači da su visokofrekventni prijenosni titraji smetnjama modulirani sa 2%. Za nesmetanu reprodukciju mora dopuštena modulacija brujanjem biti *manja* ili jednaka *m/100* u procentima ($m_b \leq m/100\%$), dakle u najgorem slučaju 1/100 od modulacionog napona. Za odašiljač sa stupnjem modulacije $m = 30\%$ smije prema tome biti $m_b \leq 30/100 = 0{,}3\%$. Iz toga slijedi da dopušteni napon brujanja na uzbudnoj rešetki elektronke, koja vrši visokofrekventno pojačavanje, ne smije kod napona od 0,5 V_{ef} za noseći val premašiti vrijednost od $0{,}5 \cdot 0{,}003 = 0{,}0015\ V_{ef} = 1{,}5\ mV_{ef}$. Kod dvaput većeg napona brujanja i modulacija je brujanjem dva puta veća. Usput napominjemo da modulacija brujanjem kod novih elektronki za visokofrekventno pojačavanje (na primjer EF 11, ECH 11, EBF 11) zbog povoljnog oblika karakteristike nije naročito kritična, pa za ove elektronke postaje problem filtriranja pojedinačnih pogonskih napona znatno jednostavniji.

Ponavljanje

Zakrivljenost radne karakteristike elektronki u visokofrekventnim pojačalima može da bude uzrokom znatnim nelinearnim izobličenjima koja se očituju u *izobličenju modulacije.* Izobličenje modulacije može se karakterizirati faktorom k_m, koji daje postotak drugog nadvala osnovne frekvencije modulacije izazvanog zakrivljenošću karakteristike. Mjesto ovoga upotrebljava se i *faktor modulacije M*, koji je jednak odnosu diferencije prema sumi vrijednosti, koju poprima strmina radne $U_g—I_a$-karakteristike u vrhovima uzbuđenja. Izobličenje modulacije raste s kvadratom izmjeničnog napona na rešetki. Za kvalitativnu reprodukciju mora k_m da bude manji ili jednak 3%, a *M* manji ili jednak 20%. Uslijed

zakrivljenosti radne karakteristike može doći i do modulacije primljenih visokofrekventnih titraja niskofrekventnim smetnjama. *Modulacija brujanjem*, koja na taj način nastaje, ne smije za reprodukciju bez smetnji da bude veća od (m/100%), ako m znači stupanj modulacije primljenih titraja. Kod novih je reguliranih elektronki opasnost od modulacije brujanjem znatno manja nego kod starijih zbog povoljnijeg oblika karakteristike.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kada govorimo o izobličenju modulacije? *Odgovor:* Kad oblik modulacionih titraja nakon pojačavanja više ne odgovara svom prvobitnom obliku. — *P.*: Uslijed čega nastaju ovakva izobličenja modulacije? *O.*: Uslijed zakrivljenosti karakteristike elektronki u visokofrekventnom pojačalu. — *P.*: Kako se izobličenje modulacije izražava brojčano? *O.*: Faktorom k_m koji je jednak procentualnom udjelu drugog nadvala titraja, kojima je bila vršena modulacija. — *P.*: Koje smo drugo mjerilo izobličenja modulacije upoznali? *O.*: Faktor modulacije M. — *P.*: U kojem brojčanom odnosu stoje k_m i M? *O.*: Oni se odnose približno kao $k_m : M = 1 : 7$. — *P.*: Koji uvjet postoji s obzirom na kvalitetnu reprodukciju? *O.*: Mora da bude $k_m \leq 3\%$, a $M \leq 20\%$. — *P.*: Što razumijevamo pod modulacijom brujanjem? *O.*: Pojavu da se visokofrekventni primljeni titraji moduliraju smetnjama uslijed zakrivljenosti karakteristike. — *P.*: Koju maksimalnu vrijednost modulacija brujanjem ne smije prekoračiti? *O.*: Modulacija brujanjem ne smije biti veća od 1/100 modulacije odašiljača. — *P.*: Kako se modulacija brujanjem može držati u niskim granicama? *O.*: Dovoljnim filtriranjem pogonskih istosmjernih napona i pažljivim oklapanjem svih kritičnih vodova, te primjenom novih elektronki za visokofrekventno pojačavanje s povoljnijom karakteristikom.

Pitanja

117. Kakva je prednost ugradnje sistema za niskofrekventno pojačavanje u indikatorskoj elektronki?

118. Što nam pokazuje faktor modulacije?

119. Kako su izobličenja modulacije ovisna o veličini izmjeničnog napona na rešetki elektronke u visokofrekventnom pojačalu?

Zadaci

84. Elektronka u visokofrekventnom pojačalu ima kod 100%-tno moduliranog ulaznog napona od 0,9 V_{ef} faktor modulacije 28%. Koliko je: a) izobličenje modulacije, b) izobličenje modulacije kod ulaznog izmjeničnog napona 1,5 V_{ef} moduliranog samo 60%-tno, c) faktor modulacije u ovom posljednjem slučaju?

85. Elektronke u visokofrekventnom pojačalu dobivaju ulazni izmjenični napon od 0,8 V_{ef}. Kod stupnja modulacije od 100% dozvoljava se modulacija brujanjem od 4%: a) Koliki najviše smije biti napon brujanja? b) Koliku vrijednost smije napon brujanja postići kod stupnja modulacije 30% i maksimalne modulacije brujanjem 1%, ako je ulazni napon isti kao gore?

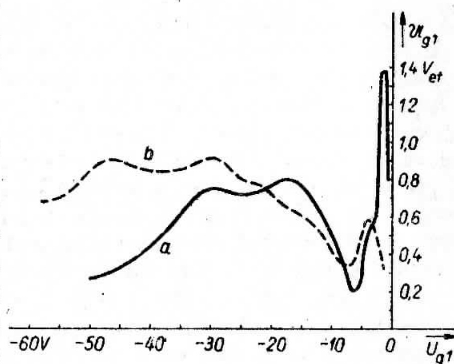
Modulacija ukrštavanjem

245. — Visokofrekventni primljeni titraji nekog odašiljača mogu biti modulirani ne samo smetnjama niskofrekventnog karaktera (modulacija brujanjem, vidi odsjek 244), nego i modulacionim titrajima odašiljača bliskog po frekvenciji. Visokofrekventni prijenosni titraji odašiljača, na koji je prijemnik ugođen, dobivaju uslijed toga nove bočne titraje, koji odgovaraju modulacionim titrajima odašiljača koji smeta. Kako ovi titraji leže unutar pojasa što ga prijemnik propušta, bit će oni i kod najselektivnijeg ugađanja anodnog kruga elektronke u visokofrekventnom pojačalu preneseni na rešetku slijedeće elektronke i ne mogu se nikakvim spojevima potisnuti. U tom slučaju čujemo preko zvučnika uz modulaciju odašiljača, koji smo željeli primati, također i modulaciju odašiljača koji smeta, te nam se čini kao da prijemnik nije dovoljno selektivan. Ova pojava, koja je isto kao i modulacija brujanjem uvjetovana zakrivljenošću karakteristike, naziva se *modulacijom ukrštavanja* ili p o p r e č n o m   m o d u l a c i j o m ili v i s o k o f r e k v e n t n i m   p r e s l u š a v a n j e m. Ukrštena modulacija izazvana je najčešće jakim lokalnim odašiljačem. Smetnje od neželjenog odašiljača prestaju odmah, čim odašiljač na koji je prijemnik bio ugođen prestane raditi ili oslabi. Kad bi prijemnik s t v a r n o bio nedovoljno selektivan, odašiljač koji smeta čuo bi se i dalje.

246. — Modulacija ukrštavanjem daje se u procentima, isto kao i izobličenje modulacije i modulacija brujanjem. Pod *faktorom modulacije ukrštavanjem* K razumijevamo odnos stupnja modulacije m_{st} odašiljača koji s m e t a, prema stupnju modulacije m odašiljača koji želimo primati, kad taj nije s m e t a n, dakle $K = (m_{st}/m) \cdot 100\%$. Pri tome vrijedi pretpostavka da je stupanj modulacije m_{st} odašiljača koji smeta jednak stupnju modulacije m odašiljača koji želimo primati. Ako to nije slučaj, moramo vrijednost K pomnožiti faktorom m_{st}/m. Faktor modulacije ukrštavanjem K raste uostalom isto kao i izobličenje modulacije k_m (vidi odsjek 243) s k v a d r a t o m napona na rešetki izazvanog odašiljačem koji smeta. Za dobar prijem mora da bude K manje od 3%, ali treba nastojati da ta vrijednost ne bude veća od 1%.

247. — Dopušteni »ukršteni« izmjenični napon $\mathfrak{U}_{g1}$ na rešetki za neku određenu vrijednost K može približno izračunati ili još bolje uzeti iz *krivulja* dobivenih mjerenjem. Ovakve krivulje pokazuju ovisnost dopuštenog napona $\mathfrak{U}_{g1}$ odašiljača koji smeta, u ovisnosti o negativnom prednaponu U_{g1} (regulacioni napon), odnosno o odgovarajućoj strmini radne karakteristike. Na sl. 183. prikazane su kao primjer dvije krivulje modulacije ukrštavanjem. Krivulja a vrijedi za reguliranu pentodu AF 3, a krivulja b za reguliranu pentodu EF 11 uz faktor $K = 1\%$, odnosno izobličenje modulacije $k_m = 0{,}4\%$. Iz ovih krivulja vidimo da dopušteni napon smetanja kod velikog negativnog prednapona elektronke AF 3

naglo pada, dok taj isti napon uz iste uvjete kod elektronke EF 11 može biti znatno veći. Mogućnosti uzbuđivanja elektronke EF 11 su dakle kod velikih negativnih prednapona znatno veće nego kod elektronke AF 3 (vidi odsjek 249).



Sl. 183.

248. — Kako je faktor modulacije ukrštavanjem prema odsjeku 246. proporcionalan kvadratu veličine ulaznog napona odašiljača koji smeta, može se modulacija ukrštavanjem sniziti, tako da se signali dotičnog odašiljača u dovoljnoj mjeri oslabe naročito selektivnim titrajnim krugovima pred uzbudnom rešetkom elektronke u prvom stupnju visokofrekventnog pojačala. Stoga se preporučuje da se kao ulazni krug prijemnika ugradi pojasni filtar. Ako se međutim, kao što je to najčešće slučaj, radi samo o jednom odašiljaču, na primjer lokalnom koji se može primati s tolikom jakošću da uzrokuje modulaciju ukrštavanjem, dovoljno je za potiskivanje ovog odašiljača ugraditi zaporni krug.

Ponavljanje

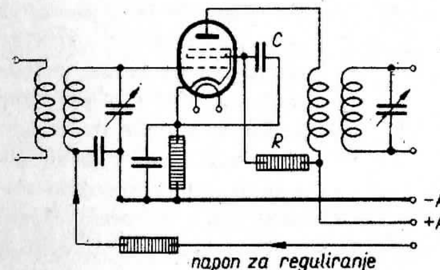
Zakrivljenost radne karakteristike elektronke u visokofrekventnom pojačalu može biti uzrokom također *modulaciji ukrštavanjem* (poprečna modulacija ili visokofrekventno preslušavanje). Pri tome titraji koje želimo primati moduliraju se titrajima jakog odašiljača koji je bliz po frekvenciji. Osim odašiljača koji želimo primati čujemo tada odašiljač koji smeta, pa izgleda kao da prijemnik nije dovoljno selektivan. Modulacija ukrštavanjem označuje se *faktorom modulacije ukrštavanjem* $K = (m_{st}/m) \cdot 100\%$, gdje je m_{st} stupanj modulacije uzrokovan odašiljačem koji smeta, a m stupanj modulacije odašiljača koji želimo primati, i to za slučaj da oba odašiljača imaju isti stupanj modulacije. K ne smije da bude veći od 3%. U praksi dobivamo dopuštene veličine izmjeničnog napona smetanja za određene vrijednosti K iz krivulje modulacije ukrštavanjem. Faktor K raste s kvadratom napona na rešetki uzrokovanog odašiljačem koji smeta. Zbog toga mora ulazni krug prvog stupnja visokofrekventnog pojačala da bude što selektivniji.

Pitanja i odgovori

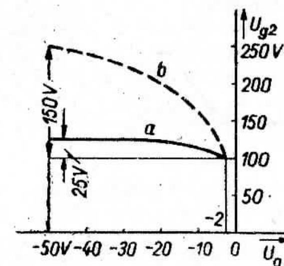
Pitanje: Koje smo tri vrsti visokofrekventnih nelinearnih izobličenja upoznali? *Odgovor:* Izobličenje modulacije, modulaciju brujanjem i modulaciju ukrštavanjem. — *P.:* Što je zajednički uzrok ovim izobličenjima? *O.:* Zakrivljenost radne karakteristike elektronke u visokofrekventnom pojačalu. — *P.:* Kako nastaje modulacija ukrštavanjem? *O.:* Visokofrekventni titraji odašiljača, koji želimo primati, moduliraju se visokofrekventnim titrajima nekog drugog odašiljača, koji mu je bliz po frekvenciji, a uz to je jak. — *P.:* Kako se očituje modulacija ukrštavanjem? *O.:* Tako, da uz odašiljač koji želimo primati čujemo i onaj, koji smeta. — *P.:* Kakav utisak to izaziva? *O.:* Prijemnik izgleda nedovoljno selektivan. — *P.:* Što nam daje faktor modulacije ukrštavanjem? *O.:* Procentualni odnos stupnja modulacije titraja koje želimo primati, izazvanog odašiljačem koji smeta, prema stupnju modulacije samog odašiljača koji želimo primati, u slučaju da su oba odašiljača jednako jako modulirani. — *P.:* Unutar kojih granica se smije kretati faktor modulacije ukrštavanjem? *O.:* Između 1% i 3%. — *P.:* Što nam pokazuju krivulje modulacije ukrštavanjem? *O.:* Ovisnost izmjeničnih napona koji smetaju, o negativnom prednaponu rešetke uz neku određenu vrijednost faktora modulacije ukrštavanjem. — *P.:* Kakvim se sredstvima može modulacija ukrštavanjem držati malenom? *O.:* Vrlo selektivnim titrajnim krugovima (pojasni filtar ili zaporni krug) u krugu rešetke elektronke prvog stupnja visokofrekventnog pojačala.

Klizni napon zaslonske rešetke

249. — U odsjeku 219. vidjeli smo da se napon zaslonskoj rešetki regulirane elektronke mora dovoditi preko ispravno dimenzioniranog djelitelja napona, kako bi se spriječio prejak porast toga napona pri malenim jakostima struje zaslonske rešetke, dakle pri velikom naponu regulacije. Tada smo već govorili o *klizanju napona zaslonske rešetke*. Nove regulirane elektronke iz E-serije (vidi odsjek 251), na primjer čelične elektronke EF 11, EBF 11, rade s *kliznim naponom zaslonske rešetke*, što znači da im napon zaslonske rešetke s porastom regulacije



Sl. 184.

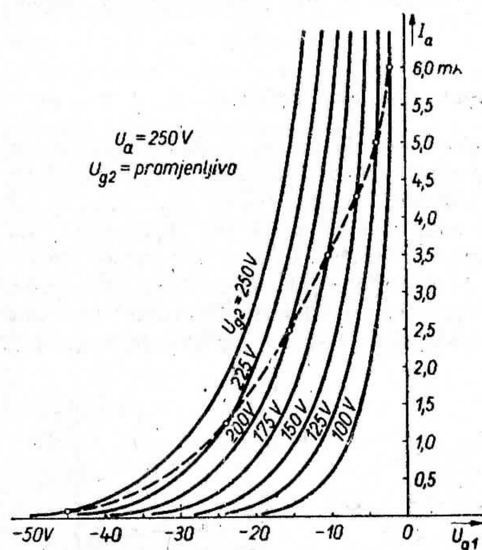


Sl. 185.

neprestano raste. Time se dobiva mnogo veće uzbudno područje kod velikih napona regulacije, a radna karakteristika je u pogledu izobličenja povoljnija. Na ove prednosti upozorili smo već u odsjeku 247. pri razmatranju sl. 183. Stanovito klizanje napona zaslonske rešetke postizava se prikladno odabranim djeliteljem napona zaslonske rešetke s velikim poprečnim (R_1 na sl. 165 i 170) otporom. Ako međutim napon zaslonske rešetke mora da bude klizni u punoj mjeri, dovodimo napon zaslonske rešetke samo preko otpora R (sl. 174). Iz primjera prikazanog na sl. 185. vidimo kako se napon zaslonske rešetke U_{g2} mijenja u ovisnosti o regulacionom naponu U_{g1}. Kod pentode AF 3 (krivulja a) mi-

jenja se napon zaslonske rešetke samo za 25 V, a kod nove pentode EF 11 (krivulja b) za čitavih 150 V. Kod dopuštene maksimalne vrijednosti za U_{g2} = 125 V, odnosno 250 V, jakost struje I_{g2} približno je jednaka nuli.

250. — Da saznamo kako klizni napon zaslonske rešetke djeluje na pomicanje radne tačke u U_{g1}—I_a-dijagramu, pogledajmo sl. 186, koja se odnosi na duodiodu-pentodu EBF 11. U nereguliranom stanju nalazi se radna tačka (označena malenom kružnicom) zbog ispravno odabranog predotpora u krugu zaslonske rešetke na krivulji za U_{g2}=100 V. Toj tački odgovara anodna struja I_a = 6 mA i osnovni prednapon U_{g1} = —2 V. Što je međutim negativni prednapon (napon regulacije) veći, to jakost anodne struje više pada, pa i pad napona na predotporu postanje manji, što znači da napon zaslonske rešetke u odgovarajućoj mjeri raste. Radna tačka putuje zbog toga kod porasta napona regulacije s jedne karakteristike na drugu. Ako je $U_{g1}\approx$16 V, to je na primjer U_{g2}=200 V, a $I_a\approx$ 2,5 mA. Za U_{g1} = —45 V postizava napon zaslonske rešetke svoju maksimalnu vrijednost U_{g2}=250 V, a pri tome je jakost anodne struje I_a= =0,1 mA. Radna tačka giblje se po crtkanoj krivulji[50]), koja je prema tome geometrijsko mjesto radnih tačaka. Uzbuđivanje se međutim ne vrši po ovoj krivulji nego po odgovarajućoj U_g—I_a-karakteristici, na kojoj se u tom momentu nalazi radna tačka. Kratki dijelovi krivulja, koji dolaze za to u obzir, prikazani su debelim kratkim linijama na odgovarajućim karakteristikama sl. 186. Iz toga vidimo da će radna strmina s rastućim naponom regulacije postajati sve manja, pa će i stupanj pojačanja takve elektronke u odgovarajućoj mjeri padati. Dalje je potrebno primijetiti da je nagib U_{g1}—I_a-karakteristike kod malenih prednapona rešetke najveći, a da kod većih prednapona postaje sve manji. Kako se zakrivljenost karakteristika kontinuirano mijenja, ta će se neugodna koljena radne karakteristike, koja se pojavljuju kod upotrebe nepromjenljivog napona zaslonske rešetke, na taj način izbjeći (vidi odsjek 249). Višim naponom zaslonske rešetke dobiva se konačno i veće uzbudno područje kod većeg napona regulacije, jer U_{g1}-I_a-karakteristike nisu u ovom slučaju, kao kod dosadašnjih reguliranih elektronki, jako zakrivljene (usporedi sl. 163). Tako na primjer smije napon regulacije kod elektronke EF 11 uz izmjenični napon na rešetki 2 V_{ef} i napon zaštitne rešetke klizeći u punoj mjeri (do 250 V) iznositi —52 V, a uz nepromjenljivi napon zaslonske rešetke od 100 V samo —21 V. Pri tome imamo u prvom slučaju odnos regulacije 1 : 500, a u drugom 1 : 300. Što je niži stalni napon zaslonske rešetke, to niži je i potrebni napon regulacije i to brže se regulacija vrši. Pri tome međutim nastupaju i veća izobličenja nego u slučaju kad se primjenjuje klizni napon zaslonske rešetke. Prema tome imamo mogućnost da, već prema opsegu u kojem želimo da napon zaslonske rešetke bude klizni, odaberemo li brzu regulaciju s većim izobličenjem, ili polaganu uz manja izobličenja. Ideje koje smo ovdje nabacili vrlo su važne kod gradnje modernih prijemnika.



Sl. 186.

50) Prijelaz s jedne krivulje na drugu vrši se zbog visoke vremenske konstante člana R—C (vidi sl. 184) polagano i kontinuirano.

Ponavljanje

Nove regulirane elektronke iz E-serije mogu raditi s *kliznim naponom zaslonske rešetke.* Kod manjeg klizanja napona zaslonske rešetke ima rešetka djelitelj napona, a kad napon zaslonske rešetke kliže u punoj mjeri, imamo samo predotpor. Što je veći negativni prednapon uzbudne rešetke, to veći je i napon zaslonske rešetke. Uslijed toga pomiče se radna tačka s porastom napona regulacije preko svih U_{g1}—I_a-karakteristika. Klizni napon zaslonske rešetke povećava uzbudno područje, naročito kod većeg napona regulacije, a istodobno omogućuje vrlo povoljno mijenjanje zakrivljenosti U_{g1}—I_a-karakteristika bez nastupanja neugodnih koljena.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što razumijevamo pod kliznim naponom zaslonske rešetke? *Odgovor:* Napon zaslonske rešetke, koji kliže prema gore, to jest postaje veći s porastom regulacionog napona, odnosno s opadanjem jakosti struje zaslonske rešetke. — *P.:* Kako se to postizava? *O.:* Napon zaslonske rešetke dovodi se preko djelitelja napona s velikim poprečnim otporom ili preko jednostavnog predotpora. — *P.:* Koje su elektronke za ovo najprikladnije? *O.:* Nove regulirane (čelične) elektronke E-serije. — *P.:* Kakav je utjecaj klizanja napona zaslonske rešetke na radnu tačku regulirane elektronke? *O.:* Radna tačka pomiče se s promjenom napona regulacije s jedne U_{g1}—I_a-karakteristike na drugu, i to tako da pri porastu napona regulacije ide na karakteristiku koja odgovara višem naponu zaslonske rešetke. — *P.:* Koja je karakteristika mjerodavna za uzbuđivanje regulacione elektronke? — *O.:* U_{g1}—I_a-karakteristika, na kojoj se radna tačka u to vrijeme nalazi, a ne karakteristika po kojoj se radna tačka za vrijeme regulacije miče u polju U_{g1}—I_a-karakteristika. — *P.:* Kakve prednosti pruža upotreba kliznog napona zaslonske rešetke? *O.:* Uzbudno područje je baš kod velikih napona regulacije veće, nego kad bismo radili sa stalnim naponom zaslonske rešetke, a osim toga se i zakrivljenost radne karakteristike mijenja na mnogo povoljniji način nego kod dosadašnjih reguliranih elektronki.

Pitanja

120. Kako je faktor modulacije ukrštavanjem ovisan o izmjeničnom naponu na rešetki uzrokovanom odašiljačem koji smeta?

121. Kada klizni napon zaslonske rešetke regulirane elektronke postizava maksimalnu vrijednost?

122. Kako utječe klizanje napona zaslonske rešetke regulirane elektronke na proces regulacije?

Zadaci

86. Maksimalni dopušteni napon zaslonske rešetke visokofrekventne regulirane pentode iznosi 150 V, a za pogonski napon, kad elektronka nije regulirana, iznosi 100 V uz jakost struje zaslonske rešetke 0,6 mA. Koliki mora da bude: a) predotpor i b) poprečni otpor djelitelja napona zaslonske rešetke, ako je anodni istosmjerni napon 250 V, a napon zaslonske rešetke smije klizati kod potpune regulacije do maksimalne dopuštene vrijednosti? c) Kolika je jakost struje koja teče kroz poprečni otpor kad nema regulacije i d) kod najvećeg napona regulacije?

87. Regulirana pentoda mora dobivati napon zaslonske rešetke, koji kliže u punoj mjeri, preko predotpora. Istosmjerni anodni napon je 250 V, a pogonski napon zaslonske rešetke, kad nema regulacije, iznosi 100 V uz jakost struje zaslonske rešetke od 2 mA. Koliki mora da bude predotpor ako napon zaslonske rešetke smije narasti na 250 V?

Čelične elektronke

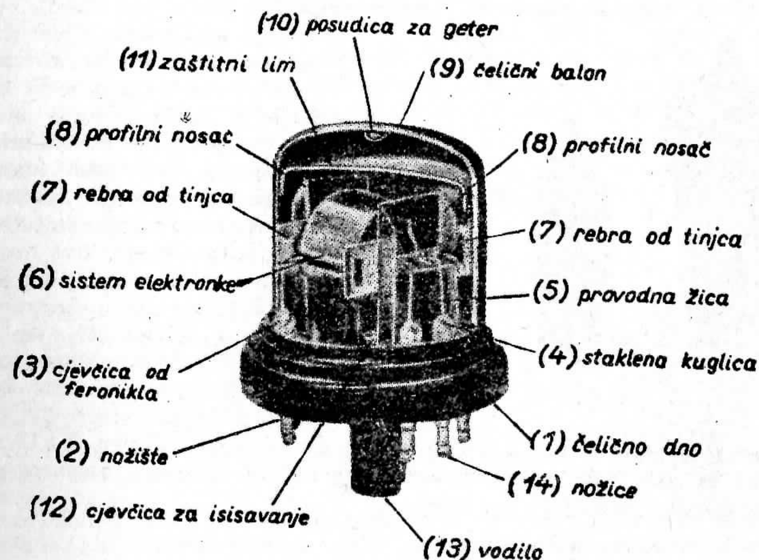
251. — Već u odsjeku 247. i 249. spomenuli smo *čelične* elektronke i upozorili na njihove električke prednosti. Ove elektronke predstavljaju stvarno znatna poboljšanja dosadašnjih elektronki ne samo u električkom nego i u mehaničkom pogledu. Čelične elektronke pripadaju E-seriji[51]). Napon žarenja ovih elektronki u ulaznim stupnjevima prijemnika je 6,3 V, a struja žarenja 200 mA. Time je stvorena mogućnost njihove mnogostrane primjene, jer se iste elektronke mogu upotrijebiti u prijemnicima za priključak na mrežu izmjenične struje (paralelno spajanje žarnih niti), u univerzalnim prijemnicima (serijsko spajanje žarnih niti) i u automobilskim prijemnicima (vidi odsjeke 32, 33, 36, 38). U univerzalnim prijemnicima moraju se međutim u izlaznom stupnju upotrijebiti elektronke iz C-serije, jer izlazne elektronke iz E-serije imaju kod napona žarenja od 6,3 V mnogo jaču struju od 200 mA. Snaga potrebna za žarenje čeličnih elektronki snižena je s nekih 2,5 W (vidi dio I, odsjek 255) na svega



Sl. 187.

51) Nove elektronke označuju se za razliku od starijih sa dva broja na primjer EF 13, EF 12, itd.

6,3 V × 0,200 A = 1,26 W. To je omogućeno manjom katodom i manjim gubicima topline. Većina elektronki iz nove E-serije ima umjesto inače uobičajenog staklenog balona *čelični* balon (sl. 187), pa je na taj način postignuta mnogo veća neosjetljivost na udarce (važno za automobilske prijemnike). Metalni balon omogućuje osim toga mnogo povoljnije odvođenje topline od staklenoga, a istodobno služi i kao zaštita unutarnjih dijelova elektronke od vanjskih električkih i magnetskih polja. Nove elektronke iz E-serije imaju posebna osmeropolna *nožišta s nožicama* (vidi sl. 187 i 188). Na jednoj strani su tri, a na drugoj strani pet nožica jedna uz drugu. U sredini nožišta nalazi se deblja nožica koja služi kao vodilo, a istodobno omogućuje bolje učvršćenje elektronke u njenom podnožju i zaštićuje metalnu cjevčicu, kroz koju se vrši evakuiranje elektronke.

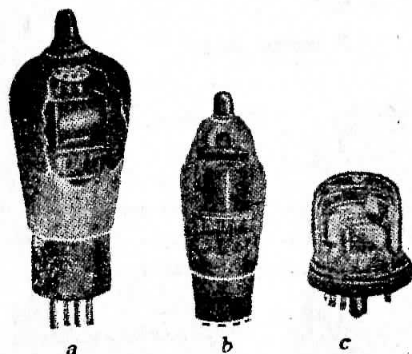


Sl. 188.

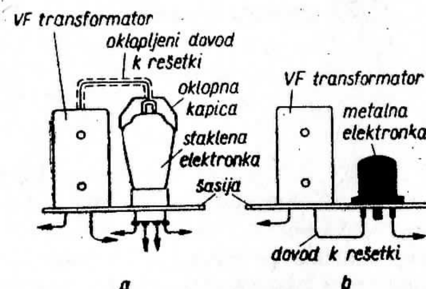
252. — Čelične elektronke imaju međutim i znatno poboljšanu *unutarnju* konstrukciju, jer imaju dvostruk profilirani nosač (8) (sl. 188), koji istodobno i zaslonski djeluje. Ovi profilirani nosači povezuju nosive mostiće od tinjca (7), u koje je učvršćen sam sistem elektronki, s čeličnim dnom (1). Na taj način postignuta je naročito čvrsta gradnja, pa je sklonost ovakvih elektronki akustičkim titranjima (mikrofonija, akustička reakcija) neznatna. Unutarnja konstrukcija elektronke počinje već na čeličnom dnu (1) i nema nikakvog podupiranja pločicama tinjca o stijene balona (9) (za razliku od elektronki u staklenom balonu; dio I,

sl. 211 i odsjek 277). Horizontalna izgradnja omogućuje dobru podjelu temperature unutar elektronke. Kako se ovakve elektronke mogu montirati u bilo kojem položaju, dakle i horizontalno i vertikalno, pruža se pri gradnji prijemnika mnogo više slobode. Zaštitni lim (11), koji se vidi na sl. 188, sprečava da na sistem ne dođu geterske pare od getera, koji se nalazi na gornjem dijelu balona (10). Za provođenje dovodnih žica u unutrašnjost elektronke služe mali tuljci u obliku cjevčica (3) od legure željeza, nikla i kobalta (ferniko) zalemljene u odgovarajuće rupe čeličnog dna. U ovim cjevčicama nalaze se kuglice od molibdenovog stakla koje su na cjevčice pritaljene, a imaju praktički jednak koeficijent toplinskog rastezanja kao i same cjevčice. Tačno kroz sredinu ovih kuglica prolaze provodne žice (5), koje spajaju elektrode s nožicama.

253. — Zbijenim načinom gradnje čeličnih elektronki (na sl. 189 vidimo tri stepena razvoja visokofrekventnih pentoda) dobivaju se mali razmaci među elektrodama i manji kapaciteti prostornog naboja, pa je uslijed toga naročito kod prijema kratkih valova razgođivanje titrajnih krugova u procesu regulacije u znatnoj mjeri smanjeno. Osim toga su dovodi unutar čeličnih elektronki znatno kraći, pa su unutarnji kapaciteti elektronke i induktivitet pojedinih dovoda znatno manji. Ove činjenice idu naročito u prilog izgradnji k o m b i n i r a n i h elektronki (vidi dio I, odsjek 259), jer je uslijed njih znatno smanjen međusoban utjecaj pojedinih sistema. Kod novih čeličnih elektronki konačno je otpao i p r i k l j u č a k n a g o r n j e m d i j e l u b a l o n a (vidi sl. 189), koji je inače kod elektronki sa staklenim balonom pri umetanju u podnožje i pri vađenju iz podnožja, te pri pakovanju i otpremi izložen oštećivanju. Svi priključci nalaze se prema tome na *donjoj* strani čeličnog balona. Uslijed toga postizava se u prvom redu vrlo malen kapacitet anoda-rešetka, a i mali spojni kapaciteti. Kako se vidi iz sl. 190. moguće je kod ovih elektronki izvesti naročito kratke vodove za priključak na međufrekventni transformator i ostale elemente, pa se u mnogo slučajeva ne mora upotrijebiti ni oklapanje pojedinih vodova.



Sl. 189.



Sl. 190.

254. — Na naročite prednosti *kliznog napona zaslonske rešetke* uz primjenu novih čeličnih elektronki upozorili smo već u odsjeku 249. Iznijeli smo da se na taj način daju smanjiti izobličenja modulacije i modulacija ukrštavanjem, a gradnja prijemnika pojednostavnjuje se, jer otpada djelitelj napona zaslonske rešetke i ukupne struje. Nove elektronke E-serije su s obzirom na svojstva regulacije, područje uzbuđivanja, strminu itd. harmonički tako prilagođene, da se njihovom upotrebom omogućuje vrlo dobra međusobna suradnja uz malen potrošak, pa se iz tih razloga ova serija i naziva *harmoničkom serijom.* Na ovaj se način postizava da se prethodni stupanj može jače regulirati, pa nema opasnosti da će doći do preuzbuđenja slijedećih stupnjeva, ni u slučaju kad se upotrebljava i s t i napon regulacije za sve regulirane stupnjeve. Tako na primjer bešumna regulirana pentoda EF 13 regulira u omjeru 1 : 150, trioda-heksoda ECH 11 u omjeru 1 : 50 (za superheterodinske prijemnike!), duodioda-pentoda EBF 11 u omjeru 1 : 10, a kombinirana regulirana pentoda s indikatorskim sistemom EFM 11 u omjeru 1 : 6. Općeniti je uvjet *da se s regulacijom smije ići uvijek samo tako daleko, da omjer regulacije kod svakog stupnja bude najviše jednak pojačanju toga stupnja!* Sve ovdje nabrojene prednosti novih čeličnih elektronki dolaze u prvom redu do punog izražaja kod prijema kratkih valova i u superheterodinskim prijemnicima, te prijemnicima za televiziju (ultrakratki valovi). To će se jasno pokazati pri daljnjem razmatranju pojedinih spojeva.

Ponavljanje

Čelične elektronke iz E-serije (6,3 V) mogu se s jednakim uspjehom upotrijebiti u prijemnicima za priključak na mrežu izmjenične struje, univerzalnim prijemnicima i automobilskim prijemnicima. Č e l i č n i b a l o n zaštićuje elektronku od udaraca, osigurava dobro odvođenje topline i oklapa je električki i magnetski od vanjskih polja. Sve čelične elektronke imaju o s m e r o p o l n o n o ž i š t e s posebnim vodilom u sredini. H o r i z o n t a l n a konstrukcija izvedena je isključivo na čeličnom dnu elektronke, pa je prema tome neosjetljiva na potrese. Zbog mnogo zbijenije gradnje unutarnji kapiciteti elektronke mnogo su manji nego kod staklenih elektronki. Naročito je malen kapacitet anoda-rešetak, jer se priključak na rešetku ne vrši više na gornjem kraju balona, nego također dolje u nožištu. Većina čeličnih elektronki čini takozvanu *harmoničku seriju,* te se daju postići vrlo povoljni radni uvjeti s obzirom na svojstva regulacije, područje uzbuđivanja, strminu itd. Visokofrekventne regulirane elektronke iz nove E-serije mogu imati z a j e d n i č k i napon regulacije bez opasnosti od preuzbuđenja slijedeće elektronke. Područje regulacije pojedinog stupnja ne smije međutim biti veće od pojačanja toga stupnja.

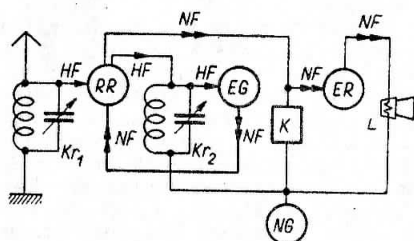
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje su prednosti čeličnih elektronki s obzirom na njihovu upotrebljivost kod različitih izvora struje za napajanje prijemnika? *Odgovor:* One su jednako upotrebljive u prijemnicima za priključak na mrežu izmjenične struje, na mrežu istosmjerne struje i u automobilskim prijemnicima. — *P.:* Čemu služi čelični balon? *O.:* On elektronku štiti od udaraca, dobro odvodi toplinu koja nastaje unutar elektronke, i zašti-

ćuje sistem elektronke od vanjskih električkih i magnetskih polja. — *P.*: Koja su poboljšanja provedena kod mnogih čeličnih elektronki prema elektronkama sa staklenim balonom s obzirom na unutarnju gradnju? *O.*: Sistem je izgrađen horizontalno na dva profilirana nosača direktno na čeličnom dnu balona, pa je prema tome bez potpornih elemenata od tinjca. — *P.*: Kako čelične elektronke mehanički pojednostavnjuju gradnju aparata? *O.*: Čelične elektronke su mnogo manje od staklenih, a mogu se ugrađivati u svakom položaju. — *P.*: Kakve električke prednosti ima zbijen način gradnje čeličnih elektronki? *O.*: Unutarnji kapaciteti elektronke vrlo su maleni, a isto tako i induktiviteti dovodnih žica. — *P.*: Koja je osnovna razlika između čeličnih i staklenih elektronki s obzirom na priključak dovoda k rešetki? *O.*: U staklenim elektronkama nalazi se priključak za rešetku većinom na gornjem dijelu balona, a u čeličnim uvijek na nožištu. — *P.*: Zašto se čelične elektronke naročito ističu s obzirom na međusoban rad u prijemniku? *O.*: Većina čeličnih elektronki naročito je usklađena jedna k drugoj po svom načinu rada (harmonička serija). — *P.*: U čemu se ova pojava naročito ugodno očituje? *O.*: Da se kod zajedničkog rada više reguliranih elektronki može upotrijebiti zajednički napon regulacije. — *P.*: Koje ograničenje postoji s obzirom na veličinu odnosa regulacije? *O.*: Odnos regulacije pojedinog reguliranog stupnja smije da bude najviše jednak pojačanju toga stupnja.

Refleksni prijemnici

255. — Prijemnici o kojima smo dosada govorili, bilo da su radili s visokofrekventnim pojačavanjem ili bez njega, bili su isključivo direktni prijemnici (vidi odsjek 185). Općenito je međutim moguće upotrijebiti elektronku koja u prijemniku vrši visokofrekventno pojačavanje, istodobno i za pojačavanje *visokofrekventnih* i za pojačavanje *niskofrekventnih* napona, dakle iskoristiti je za dvije različite radnje. U tom slučaju dobivamo spoj koji je principijelno prikazan na sl. 191. *Visokofrekventni* ulazni naponi *HF* (jednostruka strelica) dolaze preko prvog titrajnog kruga Kr_1 na elektronku *RR* koja vrši visokofrekventno pojačavanje. Ovdje se pojačavaju i dovode preko drugog titrajnog kruga Kr_2 na demodulator *EG* (vidi odsjek 145). *Niskofrekventni* naponi *NF* (dvostruka strelica) dobiveni demodulacijom ne vode se kao dosada na izlaznu elektronku *ER*, nego natrag na elektronku *RR* koja vrši visokofrekventno pojačavanje. Tek odavle se nakon pojačavanja dovode oni preko člana za vezu *K* na izlaznu elektronku *ER* i konačno na zvučnik *L*. Kako se na ovaj način pojačavanje primljenih signala ne vrši direktno, nego primjenom jednokratnog *vraćanja* unatrag, govorimo o *refleksnim* prijemnicima. Elektronka *RR*, koja vrši visokofrekventno pojačavanje, naziva se u ovom slučaju »refleksnom elektronkom«.

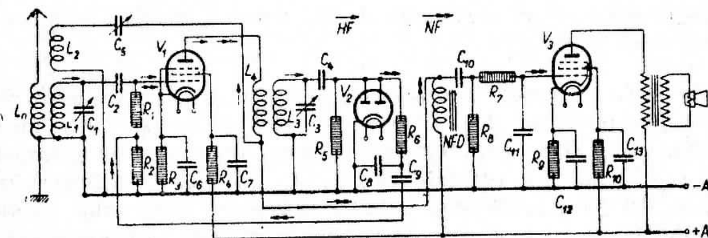


Sl. 191.

256. — Zbog dvostrukog iskorišćavanja refleksne elektronke *RR* daje refleksni prijemnik veće pojačanje od običnog direktnog prijemnika s istim brojem elektronki. Ova činjenica bila je vrlo važna u prvim danima razvoja prijemne tehnike. Tada je naime zbog visoke cijene elektronki bilo važno dobiti od aparata što veću snagu uz što manji broj elektronki. Kako međutim refleksni prijemnici nisu nikad posve zadovoljavali s obzirom na kvalitetu reprodukcije i sigurnost pogona, iščezli su kasnije iz upotrebe. Tek nakon pojave diode kao demodulatora moglo se djelovanje refleksnih spojeva poboljšati, pa su se oni opet nakon toga u velikom broju pojavili. U godinama 1934/35. dala je industrja na tržište više vrsti refleksnih prijemnika, koji su usprkos povoljnijoj cijeni (uštednja elektronki) imali priličnu izlaznu snagu, a bez mana refleksnih prijemnika iz ranijeg doba. Danas se međutim refleksni spojevi zbog znatnog napretka u proizvodnji elektronki rjeđe upotrebljavaju, a dolaze u obzir u najboljem slučaju kod malih i srednjih prijemnika, na primjer prijemnika sa tri elektronke i dva titrajna kruga i kod supera sa četiri elektronke.

257. — Kao primjer jednostavnog refleksnog spoja pogledat ćemo *refleksni prijemnik sa dva kruga i tri elektronke* (sl. 192). Visokofrekventni titraji (jednostruka strelica) dolaze preko antenskog transformatora L_0—L_1 na prvi titrajni krug L_1—C_1, te preko kondenzatora za vezu $C_2 = 100$ pF na uzbudnu rešetku refleksne elektronke V_1 koja ima veliku strminu (na primjer AF 7). Ovdje pojačani prenose se visokofrekventnim transformatorom L_4—L_3 na drugi titrajni krug L_3—C_3 i preko kondenzatora za vezu $C_4 = 50$ pF na demodulator V_2 (na primjer duodioda AB 2 s paralelno spojenim diodama). Dio visokofrekventnog napona uzima se s kraja zavojnice L_4, koji je spojen na bateriju, i odvodi se preko promjenljivog kondenzatora C_5 i zavojnice L_2 antenskog transformatora natrag na uzbudnu rešetku ulazne elektronke. Ovom induktivnom reakcijom s kapacitivnom regulacijom može se prigušenje u prvom titrajnom krugu L_1—C_1 u dovoljnoj mjeri smanjiti (vidi odsjek 181). Na opteretnom otporu $R_5 = 1{,}5\,M\Omega$ diodnog demodulatora V_2 nastaje pulsirajući napon, koji se, kako je poznato, sastoji od istosmjernog napona i niskofrekventnog izmjeničnog napona (dio I, odsjek 196). Niskofrekventni titraji (dvostruka strelica!) oslobađaju se visokofrekventnim zaporom $R_6 = 0{,}1\,M\Omega$ — $C_8 = 50$ pF (ovaj kondenzator ima za visoku frekvenciju malen, a za nisku frekvenciju vrlo velik otpor!) od preostalih visokofrekventnih titraja, pa se onda preko kondenzatora $C_9 = 5\,000$ pF (koji služi kao zapor istosmjernoj struji) i otpora $R_1 = 0{,}5\,M\Omega$, koji služi kao zapor za visoku frekvenciju, dovode na uzbudnu rešetku refleksne elektronke V_1. Zadatak otpora R_1 je da spriječi prolaz visokofrekventnim titrajima s rešetke na minus-vod. Kondenzator $C_2 = 100$ pF prisiljava niskofrekventne titraje da idu na uzbudnu rešetku refleksne elektronke V_1. Zbog svog visokog otpora za nisku frekvenciju sprečava on naime prolaz niskofrekventnim strujama kroz prvi titrajni krug L_1—C_1. Dio niskofrekventnih titraja odvodi se

preko otpora $R_2 = 1\,M\Omega$ prema minus-vodu, čime se sprečava preuzbuđenje refleksne elektronke. Niskofrekventni titraji se u refleksnoj elektronki V_1 pojačavaju i preko zavojnice L_4, koja za niskofrekventne struje ima neznatan otpor, privode niskofrekventnoj prigušnici *NFD*. Ova prigušnica služi kao elemenat za vezu sa izlaznom elektronkom i ima impedanciju koja odgovara unutarnjem otporu elektronke V_1. Niskofrekventni naponi, koji nastaju na niskofrekventnoj prigušnici *NFD*, prenose se konačno preko kondenzatora za vezu $C_{10} = 10\,000$ pF, zatim preko odvodnog otpora rešetke $R_8 = 1\,M\Omega$ i visokofrekventnog zapora $R_7 = 0{,}1\,M\Omega - C_{11} = 50$ pF (za odvođenje eventualnih ostataka visoke frekvencije) na uzbudnu rešetku izlazne pentode V_3 (na primjer AL 4). Anodni krug izlazne elektronke spojen je na uobičajeni način. Elementi R_3—C_6 i R_9—C_{12} služe za stvaranje automatskog prednapona rešetke, dok preko elemenata R_4—C_7, odnosno R_{10}—C_{13}, dobiva napon zaslonska,



Sl. 192.

odnosno zaštitna rešetka. Normalan spoj priključka na rasvjetnu mrežu nije na sl. 192. prikazan. Uzevši u obzir ispravljačicu u mrežnom dijelu predstavlja spoj, koji smo promatrali, refleksni prijemnik sa dva titrajna kruga i četiri elektronke (vidi odsjek 185 i sl. 191).

Ponavljanje

U *refleksnim spojevima* iskorištava se jedna ili dvije elektronke koje vrše pojačavanje, istodobno za vršenje dviju različitih radnji. Elektronka koja vrši visokofrekventno pojačavanje može se upotrijebiti da istodobno vrši i pojačavanje niskofrekventnih napona. To se izvodi tako da se niskofrekventni naponi, koji nastaju nakon demodulacije, vraćaju n a t r a g na elektronku koja vrši visokofrekventno pojačavanje, pa se umjesto direktno tek nakon pojačavanja u ovoj elektronki vode na izlazni stupanj. Refleksni prijemnik daje prema tome veće pojačanje od direktnoga uz isti broj elektronki. U novije se vrijeme refleksni spojevi upotrebljavaju vrlo rijetko.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što se dobiva s refleksnim spojem? *Odgovor:* Omogućuje se istodobno iskorištavanje elektronke koja vrši visokofrekventno pojačavanje također i za pojačavanje niskofrekventnih napona. — *P.:* Po čemu su ovakvi spojevi dobili ime refleksni? *O.:* Po tome što se pojačavanje signala ne vrši direktnim putem, nego se jednokratno vraća unatrag. — *P.:* Kada su refleksni spojevi bili naročito mnogo upotrebljavani? *O.:* U prvim danima razvoja prijemne tehnike, kad su elektronke bile skupe. — *P.:* Zašto se refleksni prijemnici danas upotrebljavaju tako rijetko? *O.:* Zato što se dvostruko iskorištavanje iste elektronke za dvije različite radnje gotovo ne isplati zbog velikog napretka na području gradnje elektronki. — *P.:* Čime se kod refleksnih spojeva sprečava odlazak niskofrekventnih titraja, dovedenih na refleksnu elektronku prema minus-vodu? *O.:* Ovim titrajima je put preko ulaznog titrajnog kruga zatvoren kondenzatorom. — *P.:* Kako se taj kondenzator mora dimenzionirati? *O.:* On mora da predstavlja vrlo velik otpor za niskofrekventne struje, a vrlo malen otpor za struje visoke frekvencije (na primjer 50 do 100 pF).

Pitanja

123. Kako je građeno nožište čeličnih elektronki?

124. U kojem području prijemne tehnike dolaze naročito do izražaja prednosti čeličnih elektronki?

125. Zašto su se u prvim godinama razvoja radio-tehnike mnogi prijemnici gradili kao refleksni prijemnici?

Zadaci

88. Jedan veliki prijemnik ima ove čelične elektronke (jakost struje žarne niti navedena je u zagradama): EF 13 (0,2 A), ECH 11 (0,2 A), EBF 11 (0,2 A). Osim toga ima ovaj prijemnik elektronke sa staklenim balonom (s jednakim podnožjem): EFM 11 (0,2 A), EL 12 (1,2 A) i AZ 12 (2,3 A): a) Što su po vrsti gore navedene elektronke? b) Koliku snagu troše žarne niti? c) Kolika je snaga žarenja kod približno jednakog prijemnika sa staklenim elektronkama AF 3 (0,65 A), ACH 1 (1,6 A), AF 3 (0,65 A), AB 2 (0,65 A), AM 2 (0,32 A), AL 5 (2,0 A) i AZ 1 (1,1 A)? d) Koji je odnos između snaga potrošenih na žarenje kod ovih prijemnika?

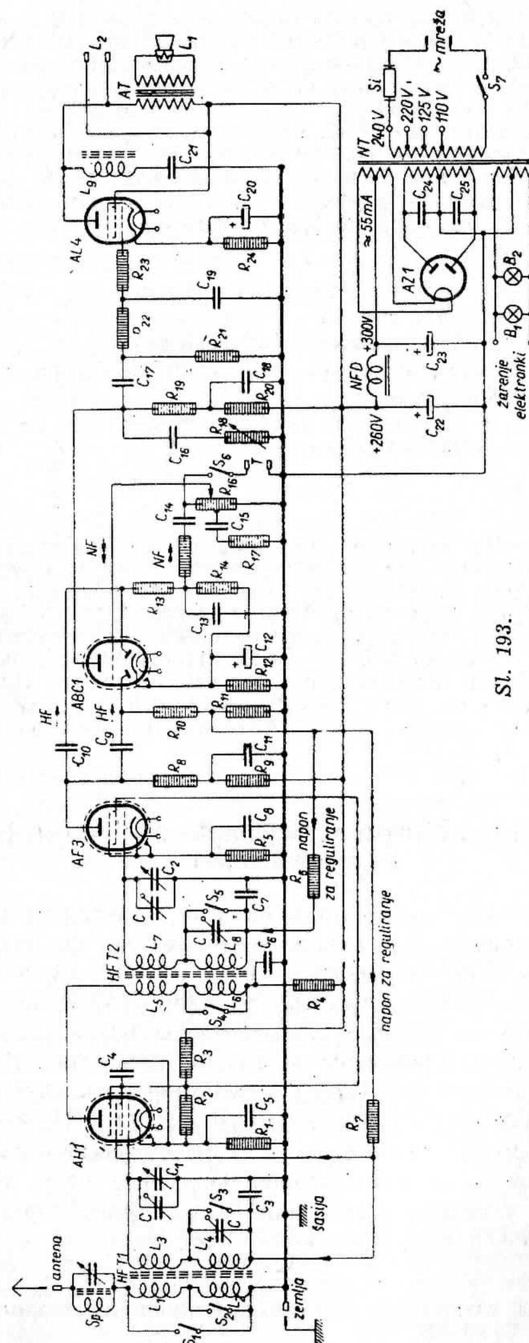
Način gradnje i rad direktnog prijemnika sa dva titrajna kruga i pet elektronki

258. — Pri završetku razmatranja direktnih prijemnika govorit ćemo još o jednom potpunom *direktnom prijemniku sa dva kruga i pet elektronki.*[52]) Ovakvim prijemnicima mogu se uz dobru prijemnu antenu primati sve veće evropske stanice. Kako se iz sl. 193. vidi ima ovaj direktni prijemnik dva stupnja visokofrekventnog pojačala s *heksodom* AH 1 *i reguliranom pentodom* AF 3 (vidi odsjeke 219 i 220 i sl. 165 i 168). Za demodulaciju i proizvođenje napona regulacije služi duodiodni dio *duodiode-triode ABC 1* (vidi odsjek 169 i sl. 131). Triodni dio ove kombinirane elektronke upotrebljava se za niskofrekventno pojačavanje s otpornom vezom, a izlazna elektronka je *pentoda* AL 4. Mrežni dio prijemnika ima dvotaktno ispravljanje s *dvotaktnom ispravljačicom* AZ 1 (vidi odsjek 17 i sl. 11 i 12).

---

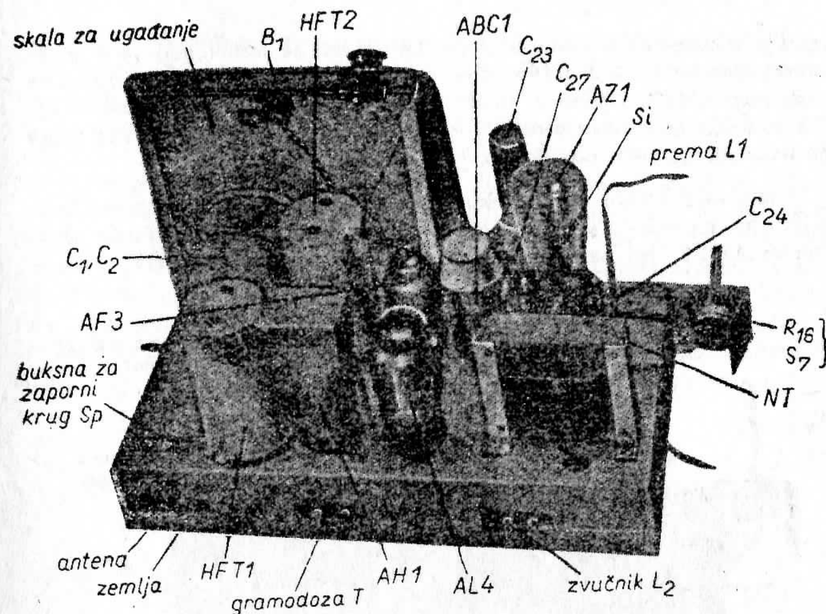
[52]) Spoj ovog prijemnika odgovara uglavnom prijemniku 47 W (iz g. 1938/39.) firme Graetz-Radio.

Potpuna shema direktnog prijemnika sa pet elektronki i dva titrajna kruga, odgođenom regulacijom fejdinga, regulatorom jakosti i boje zvuka i zaporom za 9 kHz.



Sl. 193.

$C = 10$ do 30 pF, $C_1 = C_2 = 550$ pF, C_3 do $C_8 = 0{,}1\ \mu$F, $C_9 = C_{10} = 50$ pF, $C_{11} = 0{,}1\ \mu$F, $C_{12} = 25\ \mu$F, $C_{13} = 100$ pF, $C_{14} = 20\,000$ pF, $C_{15} = 30\,000$ pF, $C_{16} = 5\,000$ pF, $C_{17} = 20\,000$ pF, $C_{18} = 2\ \mu$F, $C_{19} = 100$ pF, $C_{20} = 25\ \mu$F, $C_{21} = 3\,000$ pF $C_{22} = C_{23} = 8\ \mu$F, $C_{24} = C_{25} = 10\,000$ pF; $R_1 = 300\ \Omega$, $R_2 = 20$ kΩ, $R_3 = 30$ kΩ, $R_4 = 5$ kΩ, $R_5 = 300\ \Omega$, $R_6 = R_7 = 1$ MΩ, $R_8 = 30$ kΩ, $R_9 = 3$ kΩ, $R_{10} = 100$ kΩ, $R_{11} = 500$ kΩ, $R_{12} = 3{,}2$ kΩ, $R_{13} = 50$ kΩ, $R_{14} = 500$ kΩ, $R_{15} = 100$ kΩ, $R_{16} = 1$ MΩ, $R_{17} = 5$ kΩ, $R_{18} = 50$ kΩ, $R_{19} = 200$ kΩ, $R_{20} = 50$ kΩ, $R_{21} = 1$ MΩ, $R_{22} = 100$ kΩ, $R_{23} = 1$ kΩ, $R_{24} = 150\ \Omega$.



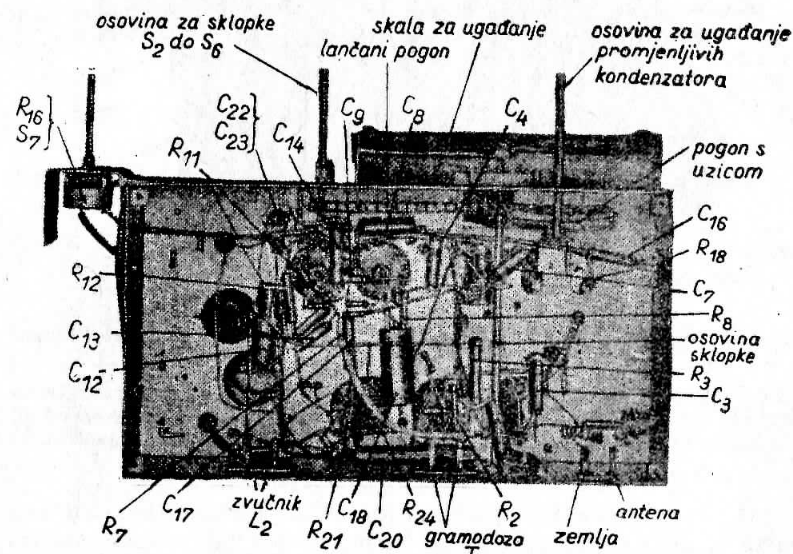
Sl. 194. — Pojedini dijelovi supera prema shemi sl. 193. na gornjoj strani metalne šasije.

Visokofrekventni transformatori *HFT 1* i *HFT 2*, priključnice za rešetke elektronki AH 1 i ABC 1, te dvostruki promjenljivi kondenzator izvedeni su oklopljeno. Zvučnika na slici nema. Označeni su samo priključci za zvučnik.

259. — U ulaznom krugu prijemnika nalazi se *zaporni krug Sp*, koji se može ugoditi na lokalnu stanicu, odnosno stanicu koja smeta, i *visokofrekventni transformator HFT 1* koji se preklopkom S_2 i S_3 može prebaciti s područja srednjih valova na područje dugih valova (vidi dio I, odsjek 222, te sl. 165 i 167). U anodnom krugu elektronke AH 1 nalazi se visokofrekventni transformator *HFT 2*, kod kojeg valne sklopke S_4 i S_5 imaju istu svrhu kao S_2 i S_3. Oba promjenljiva kondenzatora C_1 i $C_2 = 550$ pF nalaze se na zajedničkoj osovini (ugađanje jednim dugmetom, vidi odsjek 192). Četiri kondenzatora označena sa C i vezana paralelno s promjenljivim kondenzatorima su »trimeri« koji služe za izravnavanje kapaciteta kod pogona jednim dugmetom (vidi odsjek 262). Obje uzbudne rešetke regulirane heksode AH 1 dobivaju preko filtra sa $R_7 = 1$ MΩ i $C_3 = 0{,}1\ \mu$F (vidi odsjek 226) j e d n a k i, *odgođeni napon regulacije* (vidi odsjek 22). Obje zaštitne rešetke dobivaju također jednaki napon (oko 60 V prema šasiji) i to preko djelitelja napona $R_2 = 20$ kΩ + $R_3 = 30$ kΩ. Na katodnom otporu $R_1 = 300\ \Omega$ stvara se osnovni prednapon od nekih —2 V za uzbudne rešetke (vidi sl. 172). Jednaki napon regulacije dobiva i uzbudna rešetka regulirane pentode AF 3, opet preko filtra $R_6 = 1$ MΩ i $C_7 = 0{,}1\ \mu$F. Napon zaslonske

rešetke i osnovni prednapon ($R_5 = 300\ \Omega$) isti je kao i kod prve elektronke. Pentoda AF 3 spojena je kao aperiodsko pojačalo s otporima (vidi odsjek 197). Otpor u anodi je $R_8 = 30\ k\Omega$, dok otpori $R_9 = 3\ k\Omega$ i $R_4 = 5\ k\Omega$, te kondenzatori $C_{11} = 0{,}1\ \mu F$ i $C_6 = 0{,}1\ \mu F$ služe kao zapor protiv reakcije (vidi odsjek 75).

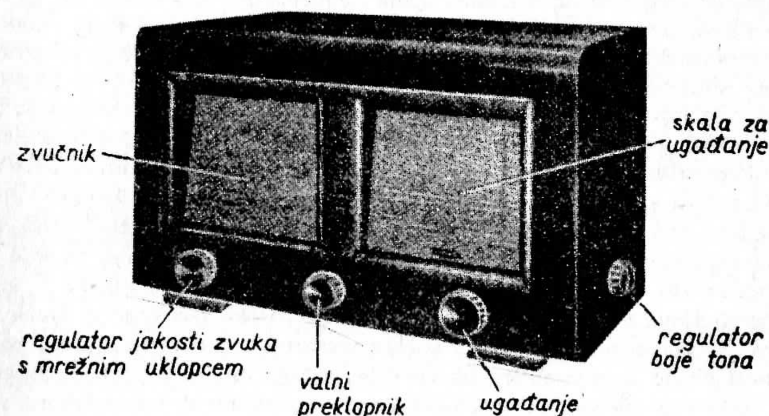
260. — Pojačani visokofrekventni ulazni naponi vode se preko kondenzatora za vezu $C_9 = C_{10} = 50\ pF$ na anode duodiodnog dijela elektronke ABC 1. Na paralelnom opteretnom otporu $R_{10} = 100\ k\Omega + R_{11} =$



Sl. 195. — Pojedini dijelovi supera sa sl. 193. na donjoj strani šasije. Sklopke S_2 do S_6 imaju zajednički pogon, a povezane su lančanim pogonom. Debeli vodovi na slici su oklopljeni dovodi.

$= 500\ k\Omega$ uzima se iza R_{10} dio istosmjernog napona nastalog procesom ispravljanja, i vodi se kao napon regulacije na uzbudne rešetke regulíranih elektronki AH 1 i AF 3. S drugog paralelnog opteretnog otpora sastavljenog od $R_{13} = 50\ k\Omega$ i $R_{14} = 500\ k\Omega$ uzima se iza R_{13} niskofrekventni napon dobiven demodulacijom. Elementi $R_{13} = 50\ k\Omega$—$C_{13} = 100\ pF$ i $R_{15} = 100\ k\Omega$ tvore visokofrekventni zapor, koji eventualne preostale visokofrekventne titraje odjeljuje od niskofrekventnih. Kako opteretni otpor $R_{10} + R_{11}$ nije vezan na katodu elektronke ABC 1 direktno, nego je spojen na zajednički minus-vod, dobivamo *odgođeni* regulacioni napon (vidi odsjek 229). Preko $R_{12} = 3{,}2\ k\Omega$ - $C_{12} = 25\ \mu F$ (elektrolitski kondenzator!) dobiva uzbudna rešetka kombinirane elektronke ABC 1 negativan prednapon od nekih —2,5 V. Niskofrekventni napon dovodi se na uzbudnu rešetku ove elektronke preko kondenzatora

za vezu $C_{14} = 20\,000\ pF$ i niskofrekventnog *regulatora jakosti zvuka* $R_{16} = 1\ M\Omega$. Nakon izvršenog pojačavanja odlazi napon anodnog otpora $R_{19} = 200\ k\Omega$ preko kondenzatora za vezu $C_{17} = 20\,000\ pF$, te visokofrekventnog zapornog otpora $R_{22} = 100\ k\Omega$ i $R_{23} = 1\ k\Omega$ (vidi odsjek 261) na uzbudnu rešetku izlazne pentode AL 4 (izlazna snaga oko 4 W). $R_{21} = 1\ M\Omega$ je odvodni otpor rešetke, a kombinacija $R_{20} = 50\ k\Omega$ — — $C_{18} = 2\ \mu F$ zapor protiv reakcije. Na $R_{24} = 150\ \Omega$ — $C_{20} = 25\ \mu F$ (elektrolitski kondenzator) nastaje prednapon od —6 V za uzbudnu rešetku izlazne elektronke. Zvučnik L_1 priključen je na uobičajeni način preko izlaznog transformatora AT na anodni krug izlazne elektronke. Par priključnica označen sa L_2 omogućuje istodoban priključak drugog zvučnika, na primjer za drugu sobu. Napon potreban za pogon ovog prijemnika filtriran je jednostavnim filtrom s prigušnicom $NFD = 20\ H$ — $C_{22} = 8\ \mu F$



Sl. 196. — Vanjski izgled prijemnika sa sl. 193.

Desno je velika skala za ugađanje s ispisanim stanicama, a lijevo elektrodinamički zvučnik s permanentnim magnetom. Kutija je drvena, a dimenzije kutije su 550×275×340 mm.

i ulaznim kondenzatorom $C_{23} = 8\ \mu F$ (elektrolitski kondenzatori). Na namotaj za žarenje mrežnog transformatora NT priključene su žarne niti pojedinih elektronki i rasvjetne žaruljice B_1 i B_2. Mrežni transformator može se preko finog osigurača *Si* (500 mA, 220 V) i sklopke S_7 priključiti na mrežu izmjeničnog napona 240, 220, 125 i 110 V (snaga iz mreže je 55 VA). U ostalim dijelovima podudara se spoj mrežnog dijela s onim sa sl. 12.

261. — Ovdje opisani direktni prijemnik ima još neke osobitosti koje je vrijedno spomenuti: 1. *Regulaciju jakosti zvuka prilagođenu osjetljivosti uha.* Osjetljivost ljudskog uha najveća je za frekvencije oko 2000 Hz, te opada s opadanjem i porastom frekvencije. Ova činjenica naročito se zapaža pri *maloj* jakosti zvuka. Ako dakle niskofrekventnim regula-

torom jakosti zvuka prijemnik stišamo, bit će u prvom redu n i s k i tonovi oslabljeni nerazmjerno jače od srednjih. Kako bi se to izbjeglo, mora regulator jakosti zvuka biti izveden tako da onda kad se općenito slabi jakost reprodukcije, tonove srednjih frekvencija oslabljuje znatno jače od niskih, dakle prilagođeno ljudskom uhu. Kako je osjetljivost našeg uha ovisna o l o g a r i t m u stvarnog zvučnog pritiska, mora promjenljivi otpor R_{16} imati *logaritmičku karakteristiku*, što znači da vrijednost otpora namještena klizačem mora da raste logaritmički s kutom okretanja klizača. Ovaj otpor ima osim toga odvojak po prilici na jednoj trećini kuta okretanja, a ovaj je vezan preko kondenzatora C_{15} = 30 000 pF i otpora R_{17} = 5 kΩ na minus-vod. Uslijed toga imamo kod malog zakretnog kuta (mala jakost zvuka) istaknuto slabljenje srednjih i viših zvučnih frekvencija. 2. *Regulator boje zvuka.* Ovaj regulator sastoji se od serijskog spoja kondenzatora C_{16} = 5000 pF, promjenljivog otpora R_{18} = 50 kΩ spojenog paralelno anodnom krugu kombinirane elektronke ABC 1 (vidi odsjek 134). 3. *Zapor za 9 kHz.* Ovaj zapor služi za potiskivanje interferentnih tonova od 9 kHz (vidi odsjek 138), a sastoji se od serijskog spoja prigušnice L_9 = 0,10 H i kondenzatora C_{21} = 3 000 pF spojenih u anodni krug izlazne elektronke AL 4. 4. *Filtar za ultrakratke valove.* Kod izlaznih elektronki s velikom strminom uvijek postoji opasnost da dođe do osciliranja na ultrakratkim valovima, koja mogu nastati uslijed reakcije anadnog kruga na krug rešetke. Titrajni krug sastoji se tada od izlaznog i ulaznog kapaciteta izlaznog stupnja i induktiviteta dovoda. Kako se radi o vrlo malim kapacitetima i induktivitetima, imaju proizvedeni titraji vrlo visoke frekvencije. Ovakvi titraji iz područja ultrakratkih valova moraju se u svakom slučaju potisnuti da ne bi, bez obzira na izobličenja koja oni prouzrokuju, doveli do uništenja izlazne elektronke. Filtar za ultrakratke valove mora se priključiti direktno na priključnicu uzbudne rešetke izlazne elektronke AL 4. Kao filtar služi otpor R_{23} = 1 kΩ i kondenzator C_{19} = 100 pF. Može se međutim također i u anodni krug i u dovod zaštitnoj rešetki ukopčati otpor od najviše 200 Ω. 5. *Priključak gramofonske doze.* Prijemnik može poslužiti i za reprodukciju gramofonskih ploča s pomoću električke zvučnice. Zvučnica se priključuje na priključnice *T*, a sklopka C_6 se zatvara. Niskofrekventni naponi dolaze preko regulatora jakosti glasa R_{16} na uzbudnu rešetku elektronke ABC 1, gdje se pojačavaju, a onda privode izlaznom stupnju. Da bi se isključile smetnje od prijemničkog dijela, zatvara se pri reprodukciji gramofonskih ploča sklopka S_1, odnosno kratko spaja ulazna zavojnica $L_1 + L_2$ visokofrekventnog transformatora *HFT 1*.

262. — *Usklađivanje* promjenljivih kondenzatora C_1 i C_2 za pogon sa zajedničkom osovinom vrši se na ovaj način[53]): Prijemnik se ugodi na neki odašiljač sa što višom frekvencijom, što znači da se rotorski

[53]) U gotovim tvorničkim prijemnicima nije dakako potrebno više vršiti ovakvo usklađivanje.

paket izvuče iz statorskog g o t o v o do kraja kod oba promjenljiva kondenzatora (sklopke S_2 do S_5 zatvorene!). Tada se mali promjenljivi kondenzatori, *trimeri C* (kapacitet 10 do 30 pF) spojeni paralelno promjenljivim kondenzatorima C_1 i C_2 dotle okreću dok odabranu stanicu ne čujemo najglasnije. Ovakvim ugađanjem trimera izjednačuju se paralelni kapaciteti (početni kapacitet promjenljivih kondenzatora, kapacitet zavojnica, kapacitet elektronke i podnožja, kapacitet otpornika, vodova itd.) obaju titrajnih krugova. Tada se rotorski paketi obaju kondenzatora uvuku u statorske gotovo do kraja, što znači da se prijemnik ugodi na neki odašiljač s niskom frekvencijom. Pomicanjem željeznih jezgri obaju visokofrekventnih transformatora *HFT 1* i *HFT 2* (»izjednačivanje induktiviteta«) nastoji se postići što veća jakost zvuka. Trimeri se pri tome ne smiju dirati. Opisani postupak ponavlja se tako dugo, dok se ne dođe do stanja u kojem se ne da više postići ni kod najviših ni kod najnižih frekvencija nikakvo povećanje jakosti zvuka. Nakon toga ponavlja se isti postupak za područje dugih valova i to trimerima *C*, koji su spojeni paralelno zavojnicama L_4 i L_8 (sklopke S_2 do S_5 otvorene!). Nakon što je završeno ovo ugađanje, potraži se neki odašiljač iz s r e d i n e područja i pokuša da li je moguće postići povećanje jakosti zvuka opreznim savijanjem sektora vanjskih rotorskih ploča promjenljivih kondenzatora C_1 i C_2 (vidi dio I, odsjek 232, sl. 174 i 51). Ovo konačno ugađanje sektorima promjenljivih kondenzatora potrebno je provesti kod što većeg broja stanica, kako bi se konačno imao ujednačen hod · promjenljivih kondenzatora na čitavom području primanja.

Na sl. 194, 195. i 196. vidimo konačno *kako su porazmješteni pojedini dijelovi* iznad metalne šasije i ispod nje, te vanjski izgled opisanog direktnog prijemnika.

Ponavljanje

Kao primjer velikog direktnog prijemnika opisali smo podrobno *direktni prijemnik sa dva kruga i pet elektronki.* Naročite značajke ovog prijemnika jesu: dva stupnja visokofrekventnog pojačala s odgođenom regulacijom fejdinga, duodioda-trioda koja vrši demodulaciju, proizvođenje regulacionog napona i pretpojačavanje niskofrekventnih napona, regulacija jakosti zvuka *prilagođena osjetljivosti* uha, regulator boje zvuka, filtar za devet kiloherca, filtar protiv ultrakratkih valova, mogućnost priključka zvučnice, pentoda u izlaznom stupnju i ispravljačica za dvotaktno ispravljanje u mrežnom dijelu. Regulacijom jakosti zvuka, koja je prilagođena osjetljivosti ljudskog uha, otklanja se zapostavljanje nižih tonova kod male jakosti zvuka. Regulator jakosti zvuka ima l o g a r i t m i č k u karakteristiku koja odgovara osjetljivosti uha. *Filtar protiv ultrakratkih* valova sprečava samooscilacije izlazne elektronke u području vrlo visokih frekvencija. Ove se oscilacije otklanjaju otporom od 1 000 Ω priključenim direktno na izvod uzbudne rešetke ili otporom od 100 do 200 Ω priključenim u dovod k anodi i k zaštitnoj rešetki. Kako promjenljivi kondenzatori imaju zajedničku osovinu, mora se osigurati njihovo usklađivanje. Ovo usklađivanje vrši se ugađanjem paralelnih trimera i promjenom induktiviteta visokofrekventnih transformatora pomoću željezne jezgre. Konačno usklađivanje vrši se savijanjem sektora vanjskih ploča rotora promjenljivog kondenzatora.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako su u osnovi spojeni stupnjevi visokofrekventnog pojačala opisanog direktnog prijemnika sa dva kruga i pet elektronki? *Odgovor:* Prvi stupanj je ugođeno visokofrekventno pojačalo s transformatorskim prijenosom, dok je drugi izveden kao aperiodsko pojačalo. — *P.*: Što se može reći o naponu regulacije obaju stupnjeva? *O.*: Oba regulaciona napona su jednaka. — *P.*: Po čemu se vidi da je regulacioni napon odgođen? *O.*: Po tome što donji kraj opteretnog otpora diode $R_{10} + R_{11}$ nije spojen direktno na katodu elektronke ABC 1, nego na minus-pol (vidi sl. 193). — *P.*: Što razumijevamo pod regulacijom jakosti zvuka prilagođenom osjetljivosti uha? *O.*: Takvu regulaciju jakosti zvuka, kod koje je pri manjoj jakosti zvuka oslabljenje dubokih tonova manje od oslabljenja srednjih i visokih. Vrijednost namještenog otpora, koji služi za regulaciju jakosti zvuka, ovisna je logaritmički o kutu zakreta klizača. — *P.*: Zašto je to potrebno? *O.*: Zato što je osjetljivost našeg uha za duboke i visoke tonove manja, a osim toga je ovisna o logaritmu zvučnog pritiska. — *P.*: Kako može izlazna elektronka doći u samooscilacije vrlo visokih frekvencija? *O.*: Ulazni i izlazni kapacitet elektronke, te induktivitet dovoda tvori titrajne krugove, koji su kapacitetom anoda-rešetka međusobno vezani. — *P.*: Kako se ovakve oscilacije mogu izbjeći? *O.*: Prigušnim otporima od kojih 1000 Ω u krugu uzbudne rešetke ili prigušnim otporima od najviše 200 Ω u krugu anode i zaštitne rešetke. — *P.*: Koja se sredstva upotrebljavaju za usklađivanje promjenljivih kondenzatora koji imaju zajedničku osovinu? *O.*: Paralelni trimeri, mijenjanje induktiviteta visokofrekventnih transformatora pomicanjem željezne jezgre i savijanjem sektora vanjskih rotorskih ploča promjenljivih kondenzatora.

Pitanja

126. Kako se kod opisanog direktnog prijemnika sa dva kruga i pet elektronki vrši mehaničko pokretanje preklopnika za prijelaz na srednje, odnosno na duge valove, ili na reprodukciju gramofonskih ploča?

127. Kako djeluju sredstva koja se upotrebljavaju za usklađivanje promjenljivih kondenzatora sa zajedničkom osovinom?

128. Koje prednosti pruža mogućnost priključivanja drugog zvučnika?

Zadaci

89. Prilikom ispitivanja usklađenosti dvaju promjenljivih kondenzatora s pogonom pomoću zajedničke osovine pokazalo se da jedan promjenljivi kondenzator uzrokuje odstupanje frekvencije od 0,1%, kad je prijemnik ugođen na 300 m: a) Za koliko je Hz pomaknuta tačka rezonancije dotičnog titrajnog kruga? b) Kojem procentualnom odstupanju od potrebne vrijednosti induktiviteta ili kapaciteta titrajnog kruga odgovara gornje odstupanje frekvencije?

90. Efektivna jakost struje u primarnom namotaju mrežnog transformatora direktnog prijemnika s dva titrajna kruga i pet elektronki je 250 mA, a efektivni napon mreže 220 V: a) Kolika je prividna snaga što je prijemnik uzima iz mreže? b) Koliki je faktor snage, ako je radna snaga 52 W?

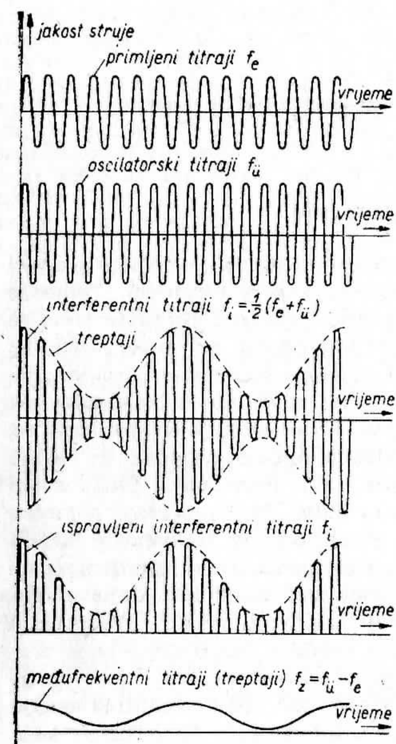
VI. Prijemnici sa superponiranjem

Bit superponiranja

263. — U odsjeku 196. već smo napomenuli da se veći prijemnici grade gotovo isključivo kao prijemnici sa superponiranjem. Tome je poseban razlog, o kojem ćemo sada opširnije govoriti. Najprije ćemo se upoznati s o s n o v n i m djelovanjem *prijemnika sa superpozicijom.* Prijemnik sa superpozicijom naziva se najčešće *superheterodinskim prijemnikom* ili kratko *super,* a često se može naići i na naziv *prijemnik s transponiranjem.* U superu se primljeni titraji ne pojačavaju direktno, kako se to događa u direktnim prijemnicima, nego se najprije pretvaraju u *međufrekventne titraje,* pa tek onda dalje pojačavaju. Stoga svaki super ima mali pomoćni odašiljač — *oscilator,* koji proizvodi *pomoćne* titraje s frekvencijom nešto m a l o različitom od frekvencije titraja koje primamo, a ovi pomoćni titraji superponiraju se primljenima na zgodan način. Jedni i drugi titraji djelujući zajednički daju međufrekventne titraje. Ako primljeni titraji imaju na primjer frekvenciju $f_e = 800$ kHz ($\lambda = 375$ m), a pomoćni oscilator proizvodi titraje frekvencije $f_ü = 920$ kHz, dobit ćemo međufrekventne titraje frekvencije $f_z = f_ü - f_e = 920 - 800 = 120$ kHz ($\lambda = 2500$ m). Istu međufrekvenciju dobili bismo s frekvencijom pomoćnog oscilatora $f_ü = 680$ kHz, jer sada $f_z = f_e - f_ü = 800 - 680 = 120$ kHz (vidi odsjek 268). Dotični odašiljač možemo dakle primati s dva različita položaja promjenljivog kondenzatora, koji pripada pomoćnom oscilatoru.

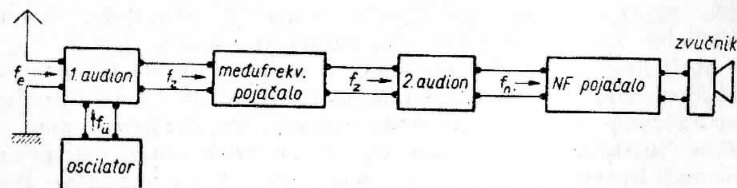
264. — Proces koji se pri superponiranju odvija prikazan je na sl. 197. Superponiranjem primljenih titraja f_e pomoćnim titrajima $f_ü$ dobivamo najprije *interferentne* titraje frekvencije $f_i = (f_e + f_ü/2)$ (vidi dio I, odsjek 191 i sl. 141 gore). Ovaj proces nazivamo *aditivnim miješanjem* dvaju titraja. Vidimo da interferentni titraji imaju treptaje, da im se dakle amplituda periodski mijenja. Da dobijemo same ove treptaje, moramo interferentne titraje demodulatorom (na primjer audionom) ispraviti. Ispravljeni interferentni titraji sastoje se prema dijelu I, odsjeku 196. i sl. 144. od čiste izmjenične struje i istosmjerne struje. Na taj način dobili smo željene treptaje koji predstavljaju međufrekventne titraje f_z (sl. 197). Treptajna frekvencija f_z jednaka je prema dijelu I, odsjeku 191. diferenciji ($f_ü - f_e$). Ako su primljeni titraji f_e modulirani niskofrekventnim titrajima f_m, imamo osim prijenosne

frekvencije f_e još i bočne frekvencije $(f_e + f_m)$ i $(f_e - f_m)$ (vidi dio I, odsjek 192). Aditivnim miješanjem frekvencije f_e s pomoćnim oscilacijama frekvencije $f_ü$ nastaju prema tome ove frekvencije: $f_ü - f_e = f_z$, $f_ü - (f_e + f_n) = (f_ü - f_e) - f_n = f_z - f_n$ i $f_ü - (f_e - f_n) = (f_ü - f_e) + f_n = f_z + f_n$. Iz toga vidimo da su i međufrekventni titraji f_z modulirani frekvencijom f_n. Mjesto jedne frekvencije f_n možemo dakako pretpostaviti da se radi o čitavom pojasu tonskih frekvencija, a da se pri tome u biti na ovim razmatranjima ništa ne izmijeni (vidi dio I, odsjek 190). Modulacija primljenih titraja prenosi se dakle s obzirom na frekvenciju vjerno na međufrekventne titraje, što znači da su *međufrekventni titraji modulirani* **na isti** *način kao i titraji koje smo primali.*



Sl. 197.

265. — Nakon ovih razmatranja moći ćemo razumjeti kako su superi u principu g r a đ e n i (sl. 198): Primljeni visokofrekventni titraji f_e superponiraju se titrajima $f_ü$ proizvedenima od *pomoćnog oscilatora* u *stupnju za miješanje,* a interferentni titraji, koji na taj način nastaju, ispravljaju se u *prvom audionu,* te dobivamo međufrekventne titraje f_z. Pri ugađanju ulaznog titrajnog kruga na željenu frekvenciju ugađa se i titrajni krug oscilatora istodobno, i to tako da se uvijek stvara jednaka *međufrekvencija* $f_z = f_ü - f_e$. Na taj način moguće je *međufrekventno pojačalo* ugoditi



Sl. 198.

fiksno (pojasni filtar) na tačno određenu frekvenciju, naime na međufrekvenciju. Nakon pojačavanja međufrekventnih titraja f_z u međufrekventnom pojačalu sa jednim stupnjem ili s više stupnjeva dolazi u drugom

audionu (ili diodnom demodulatoru) do demodulacije. Niskofrekventni titraji f_n pojačavaju se u niskofrekventnom pojačalu i konačno dovode u *zvučnik.*

Ponavljanje

U prijemniku sa superponiranjem (superheterodinski prijemnik, prijemnik s transponiranjem ili super) vrši se superponiranje visokofrekventnih primljenih titraja pomoćnima, koji se proizvode posebnim o s c i l a t o r o m. Ovakvim *aditivnim miješanjem* dvaju titraja nastaju interferentni titraji s treptajima. Interferentni titraji se i s p r a v l j a j u u p r v o m a u d i o n u supera, čime se odvajaju treptaji, koje nazivamo *međufrekventnim titrajima.* Frekvencija međufrekventnih titraja jednaka je diferenciji frekvencije pomoćnih titraja i frekvencije primljenih titraja. Međufrekventni titraji modulirani su jednako kao i primljeni titraji. Nakon pojačavanja međufrekventnih titraja u m e đ u f r e k v e n t n o m p o j a č a l u dolazi do demodulacije u d r u g o m a u d i o n u, a nakon toga slijedi n i s k o f r e k v e n t n o p o j a č a v a n j e u niskofrekventnom pojačalu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U čemu je bitna razlika između direktnog prijemnika i supera? *Odgovor:* U direktnom prijemniku vrši se pojačavanje primljenih titraja direktno, a u superu se ovi titraji najprije superponiraju titrajima pomoćnog oscilatora. — *P.:* Kakvi titraji nastaju aditivnim miješanjem primljenih titraja s pomoćnima? *O.:* Interferentni titraji. — *P.:* Što je naročita oznaka interferentnih titraja? *O.:* Treptaji. — *P.:* Čime se objašnjavaju treptaji? *O.:* Neznatnom razlikom u frekvenciji između primljenih titraja i pomoćnih titraja. — *P.:* Kako se mogu treptaji odvojiti od interferentnih titraja? *O.:* Ispravljanjem intereferentnih titraja audionom. — *P.:* Kako se ovi treptaji još nazivaju? *O.:* Međufrekventni titraji. — *P.:* Kolika je frekvencija međufrekventnih titraja? *O.:* Međufrekvencija je jednaka razlici frekvencija pomoćnih i primljenih titraja. — *P.:* Što možemo reći s obzirom na modulaciju primljenih titraja u superu? *O.:* Modulacija se prenosi bez promjena na međufrekventne titraje. — *P.:* Kako se modulacioni titraji odvajaju od međufrekventnih? *O.:* Demodulacijom nakon pojačavanja u međufrekventnom pojačalu.

266. — Super ima znatnih *prednosti* pred direktnim prijemnikom. Kako se međufrekvencija nalazi u području dugih valova (vidi odsjeke 262 i 263) ili u području između srednjih i dugih valova, daje međufrekventno pojačalo veliko *visokofrekventno pojačanje.* U direktnom prijemniku možemo imati najviše dva ili tri stupnja visokofrekventnog pojačavanja, jer su svi stupnjevi ugođeni na i s t u frekvenciju, pa je opasnost od samouzbuđenja zbog kapaciteta anoda-rešetka vrlo velika (vidi odsjek 202). U superu je drugačije. U njemu se može broj stupnjeva visokofrekventnog pojačala povećati, jer ulazni stupnjevi rade na frekvenciji, koja je različita od frekvencije međufrekventnog pojačala. Superom se dakle može postići *znatno veća osjetljivost,* nego direktnim prijemnikom. Većim brojem ugođenih titrajnih krugova dobiva se osim toga znatno *povećanje selektivnosti,* jer i f i k s n o ugođeni titrajni krugovi međufrekventnog pojačala pridonose povećanju selektivnosti. Praktički imamo istu selektivnost u superu sa dva promjenljiva i četiri fiksna titrajna kruga, kao u direktnom prijemniku sa šest promjenljivih titrajnih krugova. Mnogo

je međutim lakše izgraditi vrlo selektivno međufrekventno pojačalo s fiksnim krugovima, nego li direktni prijemnik sa samo dva ili tri promjenljiva titrajna kruga. U međufrekventnim pojačalima upotrebljavaju se većinom *pojasni filtri* (vidi odsjek 215). Time se dobiva gotovo savršena ukupna krivulja rezonancije, te se na taj način može spojiti velika selektivnost s visokom kvalitetom reprodukcije.

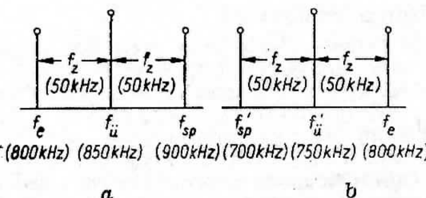
267. — S e l e k t i v n o s t supera u poredbi s direktnim prijemnikom ne povećava se samo zbog većeg broja ugođenih titrajnih krugova, već i samim procesom superponiranja. Neka nam to podrobnije objasni jedan primjer: Na frekvenciji $f_e = 800$ kHz ($\lambda = 375$ m) iznosi procentualna udaljenost od susjedne frekvencije $f_e' = 809$ kHz oko 1,1%. Ove dvije frekvencije moguće je u direktnom primjeniku odvojiti tek s poteškoćama. Ako se međutim frekvencija $f_e = 800$ kHz pretvori u superu u međufrekvenciju $f_z = 120$ kHz ($\lambda = 2\,500$ m), dat će drugi susjedni odašiljač, uz nepromijenjen položaj promjenljivog kondenzatora oscilatora, međufrekvenciju $f_z' = 111$ kHz. Iako su ove dvije frekvencije i sada razmaknute samo za 9 kHz, sad je taj razmak u procentima 7,5%, pa selektivno međufrekventno pojačalo ($f_z = 120$ kHz) međufrekvenciju $f_z' = 111$ kHz neće propustiti. Drugim riječima: selektivnost supera u ovom primjeru je 7,5 : 1,1 = 7 puta veća od selektivnosti direktnog prijemnika. Ova prednost supera postaje dakako to manjom, što je međufrekvencija viša, a frekvencija primljenih signala niža.

Izbor međufrekvencije

268. — Na bit rada supera nema veličina međufrekvencije nikakvog utjecaja, ali je zbog raznih p r a k t i č k i h razloga važno odabrati što povoljniju međufrekvenciju. U svakom slučaju potrebno je kao međufrekvencije izbjegavati one frekvencije, na kojima rade jaki razglasni ili telegrafski odašiljači. Zbog toga i zbog lakšeg pojačavanja dugih valova prije su se upotrebljavale međufrekvencije od 50 do 125 kHz, dakle frekvencije iznad gornjeg područja dugih valova. Možemo međutim lako uvidjeti da se ovako niska međufrekvencija ne preporučuje. Ako na primjer želimo primati odašiljač s prijenosnom frekvencijom $f_e = 800$ kHz uz međufrekvenciju $f_z = 50$ kHz, mora frekvencija pomoćnog oscilatora da bude $f_ü = f_e + f_z = 800 + 50 = 850$ kHz. Jednaku međufrekvenciju dobivamo međutim s nižom frekvencijom pomoćnog oscilatora $f_ü' = f_e - f_z = 800 - 50 = 750$ kHz (vidi odsjek 263). Nadalje ćemo međufrekvenciju $f_z = 50$ kHz, kod frekvencije pomoćnog oscilatora $f_ü = 850$ kHz, odnosno $f_ü' = 750$ kHz, imati i ako primamo odašiljač koji radi s frekvencijom $f_{sp} = f_ü + f_z = 850 + 50 = 900$ kHz, odnosno s frekvencijom $f_{sp}' = f_ü' - f_z = 750 - 50 = 700$ kHz. Međufrekventno pojačalo propuštat će dakle na jednak način primljene frekvencije 700 kHz, 800 kHz i 900 kHz pretvorene u međufrekvencije. Pri tome smo pretpostavili da će frekvencije 700 kHz i 900 kHz prodrijeti na bilo koji način u ulazni krug supera ili da će ih ovaj propustiti zbog nedovoljne selektivnosti. Ako se radi

o primljenim frekvencijama, koje se od frekvencije 700 kHz, odnosno 900 kHz, razlikuju samo za nekoliko kHz, onda će ove frekvencije stvarati novu međufrekvenciju f_z', koja će se od međufrekvencije $f_z = 50$ kHz razlikovati za nekoliko kiloherca. Obje međufrekvencije f_z i f_z' prouzrokovat će treptaje od nekoliko kiloherca, koji će se nakon ispravljanja u drugom demodulatoru čuti preko zvučnika kao neugodno z v i ž d a n j e.

269. — Kako je neželjena frekvencija $f_{sp} = 900$ kHz s obzirom na frekvenciju oscilatora $f_ü = 850$ kHz u stanovitom smislu zrcalna slika primane frekvencije $f_e = 800$ kHz (sl. 199-a), to se frekvencija $f_{sp} = 900$ kHz naziva *zrcalnom frekvencijom*. Isto tako je i neželjena frekvencija $f_{sp}' = 700$ kHz zrcalna frekvencija za frekvenciju $f_ü' = 750$ kHz pomoćnog oscilatora (sl. 199-b). Iz ovoga vidimo da se zrcalne frekvencije uvijek za iznos međufrekvencije razlikuju od frekvencije pomoćnog oscilatora i to na protivnu stranu od one, na kojoj je frekvencija signala, koji želimo primati. *Zrcalna frekvencija razlikuje se prema tome od frekvencije signala koji želimo primati uvijek za dvostruk iznos međufrekvencije,* pa vrijedi jednadžba:



Sl. 199.

$$f_{sp} = f_e + 2 \cdot f_z \quad (\text{za } f_ü > f_e) \quad . \; . \; . \quad (74\text{-a})$$

$$f_{sp}' = f_e - 2 \cdot f_z \quad (\text{za } f_ü < f_e) \quad . \; . \; . \quad (74\text{-b})$$

Što se n i ž e odabere međufrekvencija f_z, to se zrcalna frekvencija nalazi bliže frekvenciji signala koji želimo primati, pa je to teže razdvajanje ovih dviju frekvencija. Smetnje uzrokovane zrcalnim frekvencijama mogu se na nižim međufrekvencijama potisnuti samo vrlo selektivnim titrajnim krugovima (ulazni pojasni filtar!) pred rešetkom miješalice (prvi audion na sl. 198), što znači, da *»predselekcija«* mora da bude dovoljno velika (vidi odsjek 296). Kod međufrekvencija od nekoliko stotina kiloherca može se predselekcija izvršiti jednim jedinim titrajnim krugom, a ta je činjenica vrlo važna za gradnju dobrih malih supera. U slijedećem poglavlju upoznat ćemo i ostale smjernice kojih se treba držati pri izboru međufrekvencije.

Ponavljanje

Prijemnikom građenim na principu superpozicije može se postići mnogo veće visokofrekventno pojačanje i mnogo veća selektivnost nego direktnim prijemnikom. Međufrekventno pojačalo supera ima titrajne krugove ugođene na fiksnu međufrekvenciju, pa izgradnja više pojasnih

filtara u međufrekventnom pojačalu ne čini naročitih poteškoća. Uslijed toga moguće je mnogo lakše doći i do selektivnosti koja je znatno veća od selektivnosti direktnih prijemnika, a da se pri tome kvaliteta reprodukcje ne pogorša u nedopuštenoj mjeri. Selektivnost supera je već i zbog primjene superponiranja veća od selektivnosti direktnog prijemnika. Pri izboru međufrekvencije potrebno je voditi računa o raznim praktičkim razlozima. Za međufrekvenciju ne smije se uzeti frekvencija jakih razglasnih ili telegrafskih odašiljača. Uzimanje vrlo niske međufrekvencije također se ne preporučuje, jer pri tome lako dolazi do smetnji uzrokovanih zrcalnim frekvencijama. Zrcalne frekvencije su frekvencije koje oko frekvencije pomoćnog oscilatora leže kao slike u zrcalu onih frekvencija, koje želimo primati, pa se prema tome od frekvencije signala uvijek razlikuju za dvostruk iznos međufrekvencije. Što je međufrekvencija niža, to veća mora da bude selektivnost pred rešetkom miješalice; kod viših međufrekvencija može se ovo postići jednostavnim titrajnim krugom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje smo prednosti supera pred direktnim prijemnikom dosada upoznali? *Odgovor:* Bolje visokofrekventno pojačavanje, veća osjetljivost i veća selektivnost. — *P.:* Čime se postizava veća selektivnost? *O.:* Primjenom većeg broja čvrstih i ugodivih titrajnih krugova, te primjenom principa superpozicije. — *P.:* Zašto se rukovanje superom, iako se radi s više titrajnih krugova, ne otežava? *O.:* Zato što je veći broj titrajnih krugova nepromjenljivo ugođen. — *P.:* Gdje se nalaze ovi nepromjenljivo ugođeni titrajni krugovi? *O.:* U međufrekventnom pojačalu (pojasni filtar!). — *P.:* Zašto međufrekvencija ne smije biti preniska? *O.:* Jer u tom slučaju djelovanje zrcalnih frekvencija može u znatnoj mjeri smetati prijem. — *P.:* U čemu se očituju smetnje ove vrsti? *O.:* Prodiranjem neželjenih odašiljača i zviždanjem. — *P.:* Što su zrcalne frekvencije? *O.:* Neželjene ulazne frekvencije, koje se kao i željene frekvencije razlikuju za iznos međufrekvencije od frekvencije pomoćnog oscilatora. — *P.:* Koliki je razmak između zrcalne frekvencije i frekvencije signala, koji želimo primati? *O.:* On je jednak dvostrukom iznosu međufrekvencije. — *P.:* Kako se može ublažiti štetno djelovanje zrcalnih frekvencija? *O.:* Odabiranjem dovoljno visoke međufrekvencije, odnosno velikom predselekcijom. — *P.:* Što razumijevamo pod predselekcijom? *O.:* Titrajne krugova pred rešetkom miješalice.

Pitanja

129. Kako se tumači naziv »superheterodinski« prijemnik?

130. Zašto upotreba većeg broja stupnjeva visokofrekventnog pojačala ne predstavlja u superu jednake poteškoće kao u direktnom prijemniku?

131. Kako se mogu za neku primanu frekvenciju i neku međufrekvenciju izračunati zrcalne frekvencije?

Zadaci

91. Superom primamo signale odašiljača s prijenosnom frekvencijom 740 kHz i pomoćnim oscilacijama s frekvencijom 1208 kHz: a) Koju frekvenciju imaju interferentni titraji? b) Kolika je međufrekvencija? c) Kolika je zrcalna frekvencija? i d) Nacrtaj rezultate!

92. Superom u kojem je pomoćni oscilator ugođen u oba slučaja na i s t u frekvenciju, primamo pri različitom položaju promjenljivog kondenzatora ulaznog titrajnog kruga odašiljače s prijenosnom frekvencijom od 658 kHz i 904 kHz. Kolika je međufrekvencija?

93. Međufrekvencija nekog supera je 468 kHz, a frekvencija primanih signala 1 MHz: a) Kolika je gornja i donja pomoćna frekvencija? b) Koje su zrcalne frekvencije? i c) Prikaži rezultate crtežom!

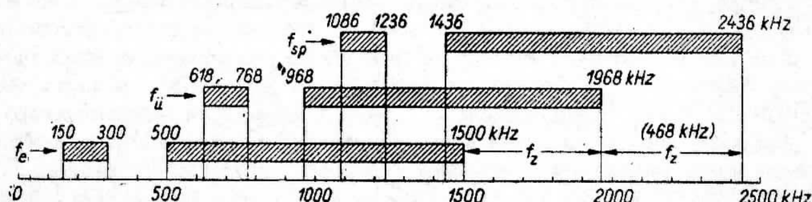
270. — Aditivno miješanje frekvencije primljenog signala i one pomoćnog oscilatora je prema odsjecima 263 i 268. d v o z n a č n o, što znači da svakoj ulaznoj frekvenciji pripadaju uvijek dvije različite pomoćne frekvencije, koje daju jednaku međufrekvenciju. Gotovo isključivo iskorištava se međutim *gornja* (viša) pomoćna frekvencija za stvaranje međufrekvencije. Uz upotrebu donje (niže) pomoćne frekvencije bilo bi, ne uzimajući u obzir druge smetnje, potrebno mnogo šire područje rada pomoćnog oscilatora, što se jasno može vidjeti iz ovog primjera: Ako je potrebno primati sve odašiljače iz područja srednjih valova (200 do 600 m), dakle sve frekvencije od 1 500 do 500 kHz uz međufrekvenciju od na primjer 470 kHz, onda bi se frekvencija pomoćnog oscilatora morala mijenjati od (1 500 + 470) = 1 970 kHz do (500 + 470) = 970 kHz, što odgovara odnosu frekvencija od 1 : 2, a taj se normalnim titrajnim krugovima može lako postići. Kad bi se međutim upotrijebila donja pomoćna frekvencija, morao bi pomoćni oscilator pokrivati područje od 1 500 — 470 = 1 030 kHz do 500 — 470 = 30 kHz. Odnos frekvencija bio bi u tom slučaju 1 : 34, a tako se veliko područje normalnim promjenljivim kondenzatorima bez prekapčanja zavojnica ne da uopće postići. Za proizvođenje međufrekvencije iskorištava se dakle uvijek *diferencija* frekvencija $f_z = f_{\ddot{u}} - f_e$ (vidi odsjek 263), a ne suma frekvencija $f_z = f_{\ddot{u}} + f_e$. U posljednjem slučaju došla bi međufrekvencija već u područje graničnih valova (vidi dio I, odsjek 142.)[54]). Superi koji rade sa sumom frekvencija »infradinski prijemnici« nemaju praktičkog značenja.

271. — Nakon razmatranja u prethodnim poglavljima možemo sada dati pobliže podatke o praktičkom izboru međufrekvencije. Vidjet ćemo odmah da postoje tri u biti različite mogućnosti. U odsjeku 268. već smo postavili zahtjev da međufrekvencija ne smije biti ujedno i frekvencija velikih razglasnih i telegrafskih odašiljača. Zbog toga bi se za međufrekvenciju moglo preporučiti frekvenciju f_z=120 kHz (λ = 2500 m). Kako smo međutim u odsjeku 269. izveli, morala bi u tom slučaju selekcija pred miješalicom biti izvedena naročito pažljivo, kako bi se izbjegle smetnje od zrcalnih frekvencija, koje padaju u područje prijema. To je međutim vezano uz prilično poskupljenje, naročito malenih i srednjih prijemnika, te se ova međufrekvencija danas rijetko upotrebljava.

272. — Najčešće upotrebljavana međufrekvencija (u srednjoj Evropi) je f_z = *468 kHz* (λ = 641 m), frekvencija, odnosno duljina vala koja je prema međunarodnim ugovorima nezaposjednuta. Uslijed relativno visoke međufrekvencije nije u ovom slučaju potrebna neka naročita selektivnost u ulaznom krugu miješalice (vidi odsjek 269). Glavna prednost ove međufrekvencije je u tome, što zrcalne frekvencije ne ometaju prijem. *Prijemnom području* od f_e = 1 500 do 500 kHz (λ = 200 do 600 m), odnosno

[54]) Na primjer 900 + 800 = 1 700 kHz, dakle oko 176 m.

f_e = 300 do 150 kHz (λ = 1 000 do 2 000 m), odgovara (gornje) *područje pomoćnih frekvencija* od $f_{ü}$ = 1968 kHz do 968 kHz ($\lambda_{ü}$ = 152 do 310 m), odnosno $f_{ü}$ = 768 do 618 kHz ($\lambda_{ü}$ = 390 do 485 m). Prema jedn. (74.-a) padat će *zrcalne frekvencije* u područje od f_{sp} = 2 436 do 1 436 kHz (λ_{sp} = 123 do 209 m), odnosno f_{sp} = 1 236 do 1 086 kHz (λ_{sp} = 242 do 276 m). Ovi odnosi prikazani su na sl. 200. Primjećujemo da zrcalne frekvencije padaju djelomično posve ispod područja srednjih valova, odnosno da se od frekvencije signala, koji želimo primati, toliko razlikuju, da do neželjenih pojava uslijed superpozicije praktički uopće ne može doći. Kao m a n a međufrekvencije f_z=468 kHz mogla bi se navesti činje-



Sl. 200.

nica da međufrekventno pojačalo nema tako velik stupanj pojačanja, kao kod dugih valova. Ovo naročito iskače na dugim valovima, kod kojih je prijenosna frekvencija već i sama ispod 468 kHz[55]). No i sada ostaje kao prednost činjenica da pojasni filtar u međufrekventnom pojačalu omogućuje mnogo bolju kvalitetu reprodukcije, nego u direktnom prijemniku s jednakom selektivnošću.

273. — Postoje konačno i superi koji rade s vrlo visokom međufrekvencijom, na primjer f_z = 1 600 kHz (λ = 187,5 m). U tom slučaju može se posve odustati od ugađanja ulaznog kruga, što dakako prijemnik znatno pojednostavnjuje. Prema jedn. (74-a) padaju sada zrcalne frekvencije u područje od 4 700 do 3 700 kHz (64 do 81 m) i 3 500 do 3 350 kHz (86 do 89,5 m), to jest u područje kratkih valova. U antenskom krugu ovakvih supera mora se nalaziti f i l t a r koji signalima iz područja kratkih valova sprečava pristup na rešetku miješalice. Kako se (gornja) frekvencija pomoćnog oscilatora na srednjim i dugim valovima nalazi sada u području od samo 3 100 do 1 750 kHz, dovoljan je jedan slog zavojnica u oscilatoru, to jest nije potrebno prekapčanje pri prijelazu s dugih na srednje valove. Zato se ovakav super naziva *superom s jednim područjem*. Usprkos ovim prednostima ovakvi superi grade se relativno rijetko i to zbog toga, što se kod visoke međufrekvencije postizava maleno visokofrekventno pojačanje i malena selektivnost, pa se bitne prednosti supera ne mogu iskoristiti. Znatno poboljšanje u ovom pogledu može se postići primjenom reakcije. Nejednaki kapaciteti elektronki, koji se u serijskoj proizvodnji teško mogu održati jednakima, djeluju u ovakvim superima također neugodno.

[55]) U mnogim superima prelazi se kod prijema dugih valova na nižu međufrekvenciju, na primjer 125 kHz.

Ponavljanje

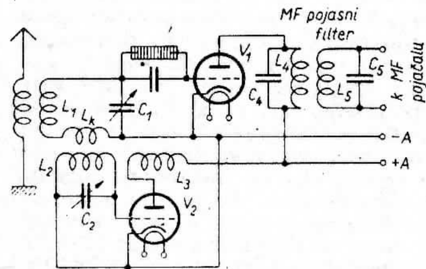
Pri miješanju primljenih titraja s pomoćnima iskorištavaju se za dobivanje međufrekvencije praktički samo g o r n j e (više) frekvencije. Kod donjih (nižih) frekvencija bilo bi potrebno vrlo veliko područje rada oscilatora. Osim toga međufrekvencija nastaje uvijek kao diferencija $f_z = f_ü - f_e$, a superi sa sumom $f_z' = f_ü + f_e$ (*infradinski superi*) gotovo su bez ikakvog značenja. Kod međufrekvencije od 120 kHz dobivamo veće visokofrekventno pojačanje, ali se zbog smetnji od zrcalnih frekvencija mora provesti vrlo dobra predselekcija u krugu rešetke miješalice. Najčešće se upotrebljava međufrekvencija oko *468 kHz*. U ovom slučaju se zrcalne frekvencije od frekvencije signala, koji dolaze u obzir za prijem, razlikuju toliko, da se nije potrebno bojati smetnji od zrcalnih frekvencija. Stupanj pojačanja međufrekventnog pojačala niži je u ovom slučaju nego uz međufrekvenciju 120 kHz. U *superima s jednim područjem*, s međufrekvencijom oko *1 600 kHz*, može se ispustiti ugađanje ulaznog kruga jer zrcalne frekvencije padaju u područje kratkih valova. No zato se u krug antene mora ugraditi filtar koji sprečava prodiranje kratkih valova. Super s jednim područjem radi s oscilatorom bez prekapčanja zavojnica kod prijelaza s područja srednjih na duge valove. Visokofrekventno pojačanje i selektivnost ovakvog prijemnika relativno su maleni.

Pitanja i odgovori

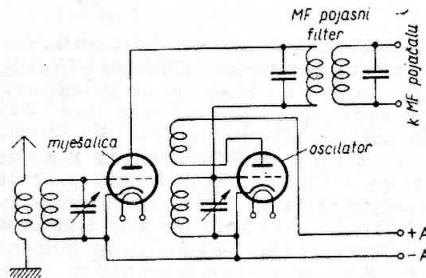
Pitanje: Koja se od dviju mogućih frekvencija pomoćnog oscilatora iskorištava praktički za stvaranje međufrekvencije? *Odgovor:* Gornja (viša) frekvencija, uz koju je $f_z = f_ü - f_e$. — *P.*: Zašto se ne iskorištava donja (niža) frekvencija? *O.*: Jer bi onda ugađanje oscilatora zbog vrlo velikog područja, koje bi trebao da pokrije, bilo otešćano. — *P.*: Što su infradinski prijemnici? *O.*: Superi, u kojima je međufrekvencija jednaka sumi frekvencije pomoćnog oscilatora i signala, koji želimo primati ($f_z = f_ü + f_e$). — *P.*: Zašto se danas prijemnici s nižom međufrekvencijom (na primjer 120 kHz) rijetko upotrebljavaju? *O.*: Zato što kod njih lako dolazi do smetnji uslijed zrcalnih frekvencija, ukoliko krug rešetke miješalice nije vrlo selektivan. — *P.*: Koja se međufrekvencija najčešće upotrebljava? *O.*: Međufrekvencija od 468 kHz. — *P.*: Zašto je ova međufrekvencija naročito prikladna? *O.*: Zato što na njoj ne radi nijedan odašiljač, a osim toga s njom kao međufrekvencijom nalaze se zrcalne frekvencije daleko od područja frekvencija koje dolaze u obzir za prijem. — *P.*: Što iz toga slijedi kao prednost? *O.*: Krug rešetke miješalice ne mora biti izveden naročito selektivno. — *P.*: Da li se upotrebljavaju za međufrekvencije i frekvencije više od 468 kHz? *O.*: Da. Superi s jednim područjem upotrebljavaju međufrekvenciju od 1 600 kHz. — *P.*: Kakve prednosti imaju ovako visoke međufrekvencije? *O.*: Zrcalne frekvencije padaju u područje kratkih valova, pa je ugađanje ulaznog kruga nepotrebno. Zatim je za prijem dugih i srednjih valova dovoljna u oscilatoru samo jedna zavojnica. — *P.*: Koje su mane supera s jednim područjem? *O.*: Pojačanje i selektivnost zbog visoke međufrekvencije relativno je maleno.

Stariji sklopovi za miješanje

274. — U *miješalici* supera vrši se miješanje primljenih oscilacija s ocilacijama proizvedenima pomoću oscilatora (pomoćni odašiljač). Tako nastali interferentni titraji se ispravljaju, pa dobivamo međufrekventne titraje (odsjek 265 i sl. 198). Upoznat ćemo se najprije s najvažnijim miješalicama, odnosno ulaznim spojevima. Iako se ovi spojevi danas upotrebljavaju vrlo rijetko, bit će nam oni od pomoći da razumijemo novije spojeve, i da upoznamo razloge, zbog kojih su noviji spojevi, o kojima će biti govora kasnije, uvedeni. Najstariji »klasični« ulazni spoj je *superheterodinski spoj*, prikazan na sl. 201. Signali koje želimo primati dolaze preko ulaznog titrajnog kruga L_1—C_1 na rešetku triode (miješalice) V_1. Ova elektronka spojena je kao jednostavan audion (vidi sl. 121) ili anodni ispravljač (vidi sl. 118) i može biti dopunjen reakcijom (vidi sl. 136). Potrebne pomoćne oscilacije daje *oscilator* s triodom V_2. Ugađanje oscilatora vrši se titrajnim krugom L_2—C_2. Oscilator može raditi s jednostavnom induktivnom reakcijom (sl. 132 i sl. 136), pa je u tom slučaju L_3 reakciona zavojnica. Ovako proizvedene pomoćne oscilacije prenose se s oscilatorskog kruga preko zavojnice za vezu L_k na rešetku elektronke V_1. Interferentni titraji koje ispravlja trioda V_1 (vidi sl. 197) dolaze na ulazni krug *međufrekventnog pojasnog filtra* L_4—C_4/L_5—C_5. Kako je međufrekventni pojasni filtar ugođen na međufrekvenciju, on će reagirati samo na ispravljene interferentne titraje, dakle na stvarne međufrekventne titraje. dok će za visokofrekventni dio interferentnih titraja predstavljati kratak spoj (vidi dio I, sl. 144). Međufrekventni titraji prelaze preko titrajnog kruga L_5—C_5 na krug rešetke slijedećeg stupnja međufrekventnog pojačala.

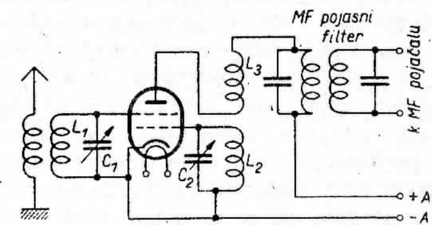


Sl. 201.



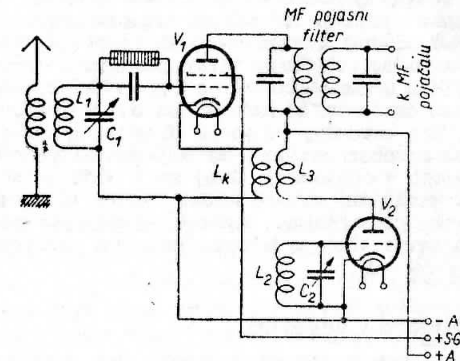
Sl. 202.

275. — Na sl. 202. vidimo *ultradinski spoj.* U ovom spoju upada u oči da se titraji pomoćnog oscilatora ne prenose u krug rešetke, nego u anodni krug miješalice, koja se naziva i *modulatorom.* A n o d a miješalice ne dobiva dakle nikakav i s t o s m j e r n i napon, nego samo i z m j e n i č n i n a p o n. Posljedica je toga da se jakost anodne struje neće mijenjati samo u taktu određenom primljenim signalima na rešetki, nego također u taktu titraja pomoćnog oscilatora. Miješalica (zbog toga što nema istosmjernog anodnog napona) radi istodobno kao a n o d n i i s p r a v l j a č, jer anodna struja može teći samo za vrijeme p o z i t i v n i h poluperioda pomoćnih oscilacija. U anodnom krugu dobivamo zbog toga željene međufrekventne titraje koje, kao na sl. 201, dovodimo na međufrekventno pojačalo preko međufrekventnog pojasnog filtra. Ultradinski spoj je podesan samo kod n e z n a t n i h ulaznih napona, jer inače dolazi do preuzbuđenja elektronke uslijed preniskog anodnog izmjeničnog napona.



Sl. 203.

276. — Kao posljedica nastojanja da se u superima smanji broj elektronki nastao je *spoj s elektronkom sa dvije rešetke* (sl. 203). U ovom spoju služi jedna elektronka i s t o d o b n o i za miješanje i za proizvođenje pomoćnih oscilacija. Ulazni titrajni krug L_1—C_1 spojen je na vanjsku rešetku, a oscilatorski titrajni krug L_2—C_2 na unutarnju rešetku (rešetku prostornog naboja). Elektronka dakle radi u spoju prostornog naboja, odnosno kao tetroda s prostornim nabojem (vidi dio I, odsjek 71 i sl. 205). Anoda je vezana s međufrekventnim pojasnim filtrom i izvorom anodnog istosmjernog napona preko zavojnice za reakciju L_3. Rad ovog spoja odgovara približno ultradinskom spoju, jer se i ovdje uzbuđivanje anodne struje pomoćnim titrajima ne vrši istom elektrodom na koju dolaze ulazni signali. Ovaj spoj ima uz neznatan stupanj pojačanja i tu manu, da dolazi do nepoželjne veze između ulaznog kruga i kruga oscilatora preko međusobnog kapaciteta rešetki. Osciliranje oscilatora može lako prestati, ako ulazni krug uzima oscilatorskom krugu uslijed kapacitivne veze previše energije.



Sl. 204.

277. — Ova mana mogla se u znatnoj mjeri smanjiti upotrebom *tetroda* (vidi odsjek 275). Tako je nastao spoj na sl. 204. Ulazni titrajni krug L_1—C_1 spojen je i ovdje na uzbudnu rešetku tetrode V_1. Vezanje

pomoćnih oscilacija odijeljenog oscilatora s elektronkom V_2 (titrajni krug L_2—C_2) s primljenim titrajima vrši se zavojnicom za reakciju L_3 preko zavojnice za vezu L_k, koja se nalazi u *katodnom vodu* miješalice V_1 (*»katodna modulacija«*). Ovaj spoj sličan je dakle superheterodinskom spoju na sl. 201, ali je s obzirom na stupanj djelovanja znatno bolji.[56]) I ako između žarne niti i katode tetrode ili pentode V_1 imamo visokofrekventni izmjenični napon (zavojnica L_k), dolazilo je u starijim elektronkama do neredovitih i nepredviđenih promjena izolacionog otpora između katode i žarne niti, a posljedica toga bili su vrlo neugodni šumovi i pucketanja. Za ovakve spojeve moraju se zbog toga u svakom slučaju upotrijebiti elektronke s bifilarno namotanom žarnom niti (vidi dio I, odsjek 255), ali se ni u tom slučaju spomenute smetnje često ne mogu posve ukloniti.

Ponavljanje

Najstariji spoj za miješanje je *superheterodinski spoj*. U njemu se titraji, koje daje oscilator, miješaju s primljenim titrajima preko zavojnice za vezu u ulaznom titrajnom krugu. Međufrekventni titraji, koji nastaju demodulacijom, prenose se preko pojasnog filtra na međufrekventno pojačalo. U *ultradinskom spoju* ne dobiva anoda miješalice nikakav istosmjerni napon, nego izmjenični napon iz pomoćnog oscilatora. Na anodnu struju djelovat će prema tome istodobno primljeni titraji (uzbudna rešetka) i titraji pomoćnog oscilatora (anoda). Ako se za miješalicu uzme *elektronka s dvije rešetke*, nepotrebna je posebna elektronka kao oscilator. Elektronka sa dvije rešetke radi istodobno kao miješalica i kao oscilator (u spoju prostornog naboja). U *tetrodama* vrši se veza na poseban oscilator zavojnicom za vezu u katodnom krugu (*katodna modulacija*). Ovaj spoj odlikuje se visokim stupnjem djelovanja i malenom kapacitivnom vezom ulaznog titrajnog kruga s titrajnim krugom oscilatora. Kako bi se izbjegle smetnje šuma i pucketanja, mora u ovom slučaju tetroda, odnosno pentoda, imati bifilarno motanu žarnu nit.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji zadatak ima u superu stupanj u kojem se vrši miješanje? *Odgovor:* U tom stupnju proizvode se pomoćne oscilacije, miješaju se s primljenim titrajima i ispravljanjem pretvaraju u međufrekventne titraje. — *P.*: Od kojih se stupnjeva sastoji superheterodinski spoj? *O.*: Miješalice (prvi audion) i oscilatora. — *P.*: Kako u ovom slučaju nastaje miješanje primljenih titraja s titrajima pomoćnog oscilatora? *O.*: Preko zavojnice za vezu, koja se nalazi u ulaznom krugu. — *P.*: Čemu služi pojasni filtar u anodnom krugu miješalice? *O.*: On izlučuje međufrekvenciju iz ispravljanih interferentnih titraja: — *P.*: U čemu je posebna karakteristika ultradinskog spoja? *O.*: Miješalica radi samo s izmjeničnim anodnim naponom. — *P.*: Otkuda ona dobiva ovaj izmjenični napon? *O.*: Anoda miješalice spojena je preko međufrekventnog pojasnog filtra s rešetkom oscilatora. — *P.*: Kakve prednosti ima spoj u kojem se upotrebljava elektronka sa dvije rešetke? *O.*: Elektronka sa dvije rešetke radi istodobno kao miješalica i kao oscilator, pa se time ušteđuje jedna elektronka. — *P.*: Kakve mane ima taj spoj? *O.*: Ulazni krug i krug oscilatora vezani su međusobno kapacitetom rešetki, pa uslijed toga može lako doći do prestanka oscilacija. — *P.*: Čime se ova mana može ukloniti? *O.*: Upotrebom pentoda ili tetroda. — *P.*: Kako radi spoj s tetrodom, u kojem je primijenjena katodna modulacija? *O.*: Ulazni titrajni krug spojen je s uzbudnom rešetkom tetrode. Zavojnica za vezu, koja se nalazi u katodnom dovodu, privodi pomoćne oscilacije. — *P.*: Kakve su mane tih spojeva? *O.*: Zbog visokofrekventnog napona između katode i žarne niti može lako doći do šumova i pucketanja, što smeta prijemu. Zbog toga se upotrebljava pentoda ili tetroda, koja ima bifilarno motanu žarnu nit.

[56]) Zbog velikog unutarnjeg otpora tetrode, odnosno pentode, dobivamo *miješanjem vrlo veliko pojačanje*, to jest vrlo velik odnos između međufrekventnog izmjeničnog napona i ulaznog izmjeničnog napona.

Pitanja

132. Kakav je utjecaj visine međufrekvencije na predselekciju ulaznog kruga?
133. Kako se objašnjava naziv »super s jednim područjem«?
134. Kako dolazi do ispravljanja interferentnih titraja u ultradinskim spojevima?

Zadaci

94. Super sa jednim područjem radi s međufrekvencijom od 1 600 kHz i omogućuje prijem srednjih i dugih valova. Kolike su: a) Ulazne frekvencije, odnosno duljine vala? b) Frekvencije, odnosno duljine vala oscilatora? c) Zrcalne frekvencije, odnosno duljine vala?

Multiplikativno miješanje

278. — U svim spojevima za miješanje o kojima smo dosada govorili, dolazilo je do ispravljanja interferentnih titraja uslijed toga, što se je radna tačka miješalice nalazila na *zakrivljenom* dijelu karakteristike. To je istodobno i razlog da vrlo lako nastaju također neželjeni međufrekventni titraji, koji za vrijeme prijema mogu uzrokovati neugodno *zviždanje*. Zakrivljenost karakteristike uzrokuje naime nelinearno izobličenje primljenih i pomoćnih oscilacija, pa osim željenih osnovnih titraja dobivamo i neželjene, *harmoničke titraje* dvostruke frekvencije, trostruke frekvencije itd. (vidi odsjek 109). Superponiranjem harmoničkih titraja primljenih signala i titraja pomoćnog oscilatora međusobno i s osnovnim titrajima stvaraju se željeni titraji, no isto tako i mnogobrojni novi međufrekventni titraji, koji se od željenih međufrekventnih titraja razlikuju za nekoliko stotina ili tisuća herca, pa ih pojasni međufrekventni filtar može propustiti. Međufrekventni treptaji, koji uslijed toga mogu nastati, čuju se nakon demodulacije u drugom audionu kao zviždanje. Ovaj nedostatak u *mnogoznačnosti* prijema pojavljuje se kod svakog aditivnog miješanja.

279. — Stvaranje harmoničkih titraja može se lako vidjeti iz jednog jednostavnog matematičkog razmatranja: Donji zakrivljeni dio karakteristike elektronke (osim kod reguliranih elektronki) može se u gruboj aproksimaciji smatrati parabolom. U tom slučaju je jakost anodne

struje *kvadratična* funkcija uzbudnog napona. Ako na uzbudnu rešetku dođu istodobno signali $\mathfrak{u}_e = \mathfrak{U}_e \cdot \sin \omega_e t$ i titraji pomoćnog oscilatora $\mathfrak{u}_ü = \mathfrak{U} \cdot \sin \omega t$, anodna će struja biti ovisna o kvadratu zbroja tih izmjeničnih napona $(\mathfrak{u}_e + \mathfrak{u}_ü)$. U anodnoj izmjeničnoj struji naći ćemo prema tome ove članove: $(\mathfrak{u}_e + \mathfrak{u}_ü)^2 = (\mathfrak{U}_e \cdot \sin \omega_e t + \mathfrak{U}_ü \cdot \sin \omega_ü t)^2 = \mathfrak{U}_e^2 \cdot \sin^2 \omega_e t + 2 \mathfrak{U}_e \cdot \mathfrak{U}_ü \cdot \sin \omega_e t \cdot \sin \omega_ü t + \mathfrak{U}_ü^2 \cdot \sin^2 \omega_ü t$. Kako je prema trigonometrijskim pravilima $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\alpha)$, a $2 \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos (\alpha - \beta) - \cos (\alpha + \beta)$, dobivamo: $\mathfrak{u}_e + \mathfrak{u}_ü)^2 = \frac{1}{2} \mathfrak{U}_e^2 (1 - \cos 2 \omega_e t + \mathfrak{U}_e \mathfrak{U}_ü [\cos (\omega_e - \omega_ü (t - \cos (\omega_e + \omega_ü) t] + \frac{1}{2} \mathfrak{U}_ü^2 (1 - \cos 2 \omega_ü t)$. U anodnoj izmjeničnoj struji imamo prema tome *neželjene harmoničke titraje* s kružnom frekvencijom $2 \omega_e$ i $2 \omega_ü$, odnosno s frekvencijama $2 f_e$ i $2 f_ü$, kao i željenu sumu, odnosno diferenciju frekvencija $(f_e + f)_ü$ i $(f_e - f_ü)$, dakle *međufrekvenciju.*

280. — Prilike su znatno drugačije ako za miješanje upotrijebimo *heksodu.* Iz odsjeka 220, znamo već da na anodnu struju heksode djeluju obje uzbudne rešetke, pa će jakost anodne struje biti ovisna *o produktu* $U_{g1} \cdot U_{g3}$ uzbudnih napona obiju rešetki. Ako na prvu uzbudnu rešetku dovodimo primane signale $\mathfrak{u}_e$, a na drugu oscilacije s pomoćnog oscilatora $\mathfrak{u}_ü$, onda ćemo u anodnoj struji imati član: $\mathfrak{u}_e \cdot \mathfrak{u}_ü = \mathfrak{U}_e \cdot \sin \omega_e t \cdot \mathfrak{U}_ü \cdot \sin \omega_ü t$. Prema odsjeku 279. možemo pisati: $\mathfrak{u}_e \cdot \mathfrak{u}_ü = \frac{1}{2} \mathfrak{U}_e \mathfrak{U}_ü [\cos (\omega_e - \omega_ü) t - \cos (\omega_e + \omega_ü) t]$. U tom slučaju nastaju samo sume i diferencije frekvencija $(f_e + f_ü$ i $f_e - f_ü$, pa do stvaranja međufrekvencije dolazi *bez posebnog ispravljanja* isključivo međusobnim djelovanjem primljenih signala i pomoćnih oscilacija. Na taj način moguće je raditi isključivo na *ravnom* dijelu U_{g1}—I_a-karakteristike i U_{g3}—I_a-karakteristike. Ako se pri radu ne prijeđe ravni dio ove karakteristike, ne može doći ni do *zviždanja* uslijed harmoničkih titraja nastalih u miješalici. Za razliku od aditivnog miješanja radi se ovdje o *multiplikativnom miješanju,* koje postoji uvijek, kad se primljeni titraji i pomoćne oscilacije dovode na dvije r a z l i č i t e uzbudne rešetke, od kojih jedna na struju elektrona (u ovom slučaju druga uzbudna rečetka G_3, vidi sl. 166) djeluje kao *razdjelna rešetka* (vidi sl. 220).

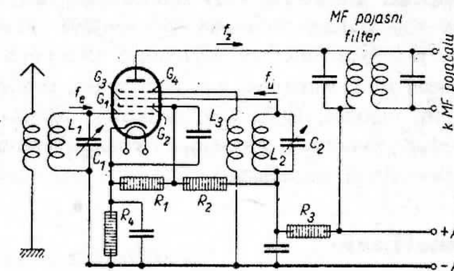
Ponavljanje

U svim spojevima za miješanje, koji rade s a d i t i v n i m miješanjem, dolazi pri ispravljanju interferentnih titraja zbog zakrivljenosti karakteristike do neželjenog stvaranja harmoničkih titraja. Harmonički titraji pomoćnog oscilatora s onima primljenog signala interferiraju međusobno i s osnovnim titrajima, pa tako nastaju nepoželjni međufrekventni titraji, koji s pravim međufrekventnim titrajima mogu uzrokovati *zviždanje* prilikom prijema. Ove neugodne pojave nema kod *multiplikativnog miješanja.* Multiplikativno miješanje imamo uvijek onda, kad se primljeni signali i titraji pomoćnog oscilatora dovode dvjema različitim rešetkama miješalice, pri čemu jedna od tih uzbudnih rešetki djeluje na elektrone kao *razdjelna rešetka.* Za multiplikativno miješanje dolazi dakle u obzir u prvom redu *heksoda.* Kako je jakost anodne struje ovisna o p r o t u k t u napona na uzbudnim rešetkama, nije potrebno posebno ispravljanje interferentnih titraja. Za uzbuđivanje miješalice iskorištava se samo r a v n i dio karakteristike.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji je nedostatak aditivnog miješanja? *Odgovor:* Lako dolazi do harmoničkih titraja kod primljenih oscilacija i pomoćnih oscilacija, uslijed čega može doći do zviždanja u prijemu. — *P.:* Kako dolazi do harmoničkih titraja? *O.:* Uslijed zakrivljenosti karakteristike miješalice. — *P.:* Zašto se u miješalicama s aditivnim miješanjem ne može raditi na ravnom dijelu karakteristike? *O.:* Zato što onda ne može doći do potrebnog ispravljanja interferentnih titraja. — *P.:* Kako se spomenute mane mogu otkloniti? *O.:* Upotrebom heksode kao miješalice. — *P.:* Kakva je u tom slučaju osnovna razlika prema miješanju, o kojem smo dosada govorili? *O.:* Heksoda vrši m u l t i p l i k a t i v n o miješanje. — *P.:* Što je bitna oznaka multiplikativnog miješanja? *O.:* Međufrekvencija nastaje bez posebnog ispravljanja isključivo međusobnim utjecajem primljenih titraja i titraja pomoćnog oscilatora. — *P.:* Kako je to moguće? *O.:* Jakost anodne struje kod heksode ovisna je o p r o d u k t u napona obiju uzbudnih rešetki. — *P.:* Kada u multiplikativnom miješanju ne može doći do stvaranja harmoničkih titraja, odnosno do zviždanja? *O.:* Kad se za uzbuđivanje iskorištava samo ravni dio U_g—I_a-karakteristike.

281. — Na sl. 205. vidimo *shemu spoja za miješanje s nereguliranom heksodom,* kakav se prije često upotrebljavao. Za miješanje upotrebljena je heksoda RENS 1224, odnosno X 4122. Primljeni visokofrekventni titraji f_e dolaze s titrajnog kruga L_1—C_1 na prvu rešetku G_1, gdje se pojačavaju u dijelu elektronke sastavljenom od katode, prve uzbudne rešetke G_1 i prve zaslonske rešetke G_2 (vidi sl. 166 i 168). Prva rešetka djeluje na ukupnu struju elektrona, kako to odgovara primljenim visokofrekventnim naponima. Druga uzbudna rešetka G_3 spojena je na oscilatorski titrajni krug L_2—C_2, a reakcija se vrši reakcionom zavojnicom L_3 spojenom na drugu zaslonsku rešetku G_4. Gornji dio heksode iskorištava se dakle kao oscilator. Iznad prve zaslonske rešetke G_2 dolazi do superpozicije primljenih titraja s titrajima pomoćnog oscilatora i djelovanjem razdjelne rešetke G_3 do stvaranja međufrekventnih titraja f_z. Ovi se, kao i dosada, prenose na međufrekventno pojačalo preko međufrekventnog pojasnog filtra. Pozitivni napon zaslonske rešetke $U_{g2} = 120$ V i pozitivni napon uzbudne rešetke $U_{g3} = 200$ V uzimaju se s djelitelja napona $R_1 + R_2 + R_3 = 35\,k\Omega + 15\,k\Omega + 6\,k\Omega$, a automatski prednapon prve uzbudne rešetke $U_{g1} = -1{,}5$ V dobiva se na otporu u katodi $R_4 = 100\,\Omega$. Navedeni podaci odnose se na anodni istosmjerni



Sl. 205.

napon $U_a = 250$ V, pri čemu su svi naponi mjereni prema katodi, a ne prema —*A*.

282. — Prednost je ovog spoja u tome, što su oba titrajna kruga, ulazni i oscilatorski, prvom zaslonskom rešetkom G_2 praktički savršeno odijeljeni. Kapacitivna veza između ovih titrajnih krugova vrlo je naime slaba uslijed zaslonskog djelovanja rečetke G_2 (vidi dio I, odsjek 275). Time je ujedno onemogućeno prodiranje titraja iz pomoćnog oscilatora u ulazni krug, odnosno krug antene, te super nije maleni odašiljač, koji smeta susjedstvu. Kao nedostatak opisanog spoja moglo bi se navesti to, što se u njemu ne može primijeniti automatska regulacija fejdinga i jakosti zvuka, jer bi kod regulacije dolazilo do prestajanja oscilacija. Još lošiji je utjecaj regulacije na *stabilnost frekvencije* oscilatora. Pri neželjenoj promjeni frekvencije oscilatora dolazi do promjene međufrekvencije, uslijed čega nastaju izobličenja. Ova pojava naziva se *prebacivanjem frekvencije*. Prebacivanje frekvencije ne smije ni u jednom slučaju biti veće od širine pojasa međufrekventnog pojačala, kako bi bio moguć dobar prijem kratkih valova. Do prebacivanja frekvencije može doći promjenom pogonskih napona i unutarnjih kapaciteta miješalice. Uslijed regulacije mijenja se naime prostorni naboj u blizini rešetke, a to je po djelovanju isto što i promjena kapaciteta rešetke[57], uslijed čega se razgađa titrajni krug (naročito titrajni krug oscilatora), koji je spojen s tom rešetkom. Svih ovih nedostataka nema kad miješalica nije regulirana. U tom se slučaju može pred miješalicu ukopčati regulirana elektronka, koja vrši visokofrekventno pojačavanje. Dakako da su ovakvi spojevi vezani uz veći potrošak materijala, što je često također neugodno. Najmanji super ove vrsti bio bi prema tome *super sa pet elektronki*, dakle sa jednim reguliranim stupnjem visokofrekventnog pojačala, miješalicom, reguliranim stupnjem međufrekventnog pojačala, demodulatorom i jednim stupnjem niskofrekventnog pojačala.

Ponavljanje

U spojevima, u kojima je za miješanje upotrijebljena *heksoda*, iskorištava se ona istodobno i kao oscilator. Prva zaslonska rešetka izvodi pratički savršeno odjeljivanje ulaznog titrajnog kruga od oscilatora i sprečava također prenošenje oscilacija oscilatora u krug antene. U ovom spoju ne smije međutim heksoda biti regulirana, jer tada dolazi do prestajanja oscilacija, odnosno *prebacivanja frekvencije* oscilatora. Prebacivanje frekvencije, dakle razgođanje titrajnog kruga regulacijom, nastaje uslijed promjene pogonskih napona i kapaciteta miješalice. Ove pojave možemo izbjeći ako regulaciju primljenih titraja vršimo u visokofrekventnom pojačalu pred miješalicom.

---

[57]) Što je niži anodni napon i napon zaslonske rešetke, to manje elektrona prolazi, na primjer, kroz negativnu prvu rešetku elektronke, i to manja je brzina elektrona. Kapacitet ove rešetke u tom slučaju je veći od onoga koji bismo imali kod višeg napona na anodi i na zaslonskoj rešetki.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako su titrajni krugovi priključeni kod miješanja s heksodom? *Odgovor:* Ulazni titrajni krug priključen je na prvu uzbudnu rešetku, a oscilatorski titrajni krug na drugu uzbudnu rešetku heksode. — *P.*: Kakvo posebno značenje ima prva zaslonska rešetka kod miješanja heksodom? *O.*: Ona djeluje kao gotovo savršen zaslon između ulaznog i oscilatorskog titrajnog kruga, pa istodobno sprečava prodiranje titraja oscilatora u krug antene. — *P.*: Kakve su mane miješanja heksodom? *O.*: Miješalica se ne smije regulirati. — *P.*: Zašto to nije dopušteno? *O.*: Zato, što bi reguliranje moglo dovesti do prestajanja oscilacija, odnosno prebacivanja frekvencije oscilatora. — *P.*: Što razumijevamo pod prebacivanjem frekvencije oscilatora? *O.*: Mijenjanje frekvencije oscilatora uslijed regulacije. — *P.*: Uslijed čega dolazi do prebacivanja frekvencije? *O.*: Uslijed promjena pogonskih napona i promjena unutarnjeg kapaciteta heksode. — *P.*: Kako se to može otkloniti? *O.*: Regulacijom u visokofrekventnom pojačalu pred miješalicom (uz istodobno reguliranje međufrekventnog pojačala).

Pitanja

135. Uslijed čega dolazi do nejednoznačnosti prijema u superu?

136. Kad imamo multiplikativno miješanje?

137. U kojem slučaju kapaciteti u heksodi uzrokuju prebacivanje frekvencije?

Zadaci

95. Superom s međufrekvencijom od 468 kHz prima se odašiljač s prijenosnom frekvencijom od 592 kHz: Kolike su štetne frekvencije, ako osim osnovnih titraja treba uzeti u obzir i druge harmoničke titraje oscilatora i štetnih frekvencija?

96. Mjerenja na jednoj miješalici, kod koje oscilator u titrajnom krugu ima kapacitet od 100 pF, dala su pri duljini vala od 20 m za vrijeme regulacije promjenu frekvencije od 1,5 kHz: koliko je prebacivanje frekvencije u odnosu na frekvenciju primanih signala?

Moderne miješalice

283. — Nedostaci koje smo naveli u odsjeku 282. (prestajanje oscilacija i prebacivanje frekvencije oscilatora) kod regulirane heksode, koja istodobno radi i kao oscilator, mogu se izbjeći ako se upotrijebi poseban oscilator. Tada dobivamo spoj kao na sl. 206. s heksodom kao reguliranom miješalicom i odijeljenim oscilatorom. Za miješalicu može se upotrijebiti elektronka AH 1, dakle ista elektronka koja se i inače upotrebljava kao *regulirana* heksoda (vidi odsjek 220). Za oscilator upotrebljava se obična trioda V_2, na primjer AC 2. Na prvu uzbudnu rešetku heksode dovodimo izmjenične napone s titrajnog kruga L_r—C_1 i napon regulacije (vidi na primjer sl. 170), a na drugu uzbudnu rešetku (treća rešetka) oscilacije s oscilatora V_2. Oba opisana stupnja rade dakle posve odijeljeno, pa je na taj način moguće i drugoj

uzbudnoj rešetki elektronke V_1 i uzbudnoj rešetki elektronke V_2 dati najpovoljnije negativne prednapone. U prvoj elektronki vrši se to automatski odvodnim otporom R_4 u rešetki (0,5 do 1 MΩ), kroz koji teče struja rešetke, a u drugoj elektronki V_2 također automatski, iskorištavajući pad napona uslijed prolaza anodne struje kroz otpor u katodi $R_5 = 900\,\Omega$. Uslijed toga što su prednaponi na ovim dvjema rešetkama različiti, moraju obje rešetke s obzirom na istosmjernu struju biti odijeljene kondenzatorom $C_3 = 100$ pF. Na taj način prebacivanje frekvencije praktički je isključeno, usprkos tome što je miješalica regulirana. Zato ovaj spoj i kod prijema u području kratkih valova radi vrlo pouzdano. Zaslonske rešetke (druga i četvrta) zaslanjaju drugu uzbudnu rešetku od prve uzbudne rešetke i anode. Multiplikativno miješanje vrši se na isti način kao u spoju opisanom u odsjeku 271.

Sl. 206.

284. — Oscilator je međutim spojen nešto drugačije nego dosada. Titrajni krug L_2—C_2 ovaj put je u anodnom krugu, a reakciona zavojnica L_3 u krugu rešetke. Kondenzator $C_4 \approx 500$ pF dijeli titrajni krug L_2—C_2 od izvora anodnog istosmjernog napona. Anodni istosmjerni napon od 250 V dovodi se preko omskog otpora R_6 od najmanje 30 kΩ. Obje zaslonske rešetke elektronke V_1 dobivaju jednak napon od + 80 V (uz pogonski napon od + 250 V na + A) preko djelitelja napona $R_1 + R_2 = 40\,k\Omega + 60\,k\Omega$. Na katodnom otporu $R_3 = 500\,\Omega$ dobiva se automatski osnovni prednapon od kojih —2 V za prvu rešetku. Druga zaslonska rešetka (četvrta rešetka), koja se nalazi u blizini anode, osim toga što ima zaslonsko djelovanje (vidi odsjek 283), uzrokuje također znatno povećanje unutarnjeg otpora elektronke (vidi dio I, odsjek 274). Zbog toga imamo veće *pojačanje miješanja* (odnos međufrekventnog izmjeničnog napona prema ulaznom izmjeničnom naponu).

285. — Kod miješalica se često računa sa *strminom miješanja*. $S_ü$ ili *konverzionom strminom*. Pod konverzionom strminom razumijevamo *odnos jakosti izmjenične struje međufrekventnih titraja u anodnom krugu prema visokofrekventnim naponima u ulaznom krugu miješalice u* mA/V[58]). Pojačanje miješanja može se onda izraziti jednostavno kao pojačanje elektronke s više elektroda jednadžbom: $V_u \approx S \cdot \mathfrak{R}_a$ (vidi jedn. 32). Ako je konverziona strmina na primjer $S_ü = 0{,}75$ mA/V, to znači da će kod ulaznog izmjeničnog napona od 1 V u anodnom krugu miješalice teći međufrekventna struja od 0,75 mA. Konverziona strmina je to veća, što je veća strmina uzbudne rešetke i što su veći naponi oscilatora. Heksoda AH 1 ima u visokofrekventnom naponu pomoćnog oscilatora od 9 V_{ef} najveću konverzionu strminu od kojih 0,55 mA/V. Ako regulacioni napon prve uzbudne rešetke padne za vrijeme regulacije sa —2 V na —20 V, pada konverziona strmina u odnosu od kojih 1 : 300.

[58]) Konverziona strmina može biti u najboljem slučaju jednaka $1/\pi = 0{,}318$-kratniku najveće strmine S, koju bismo imali kad bi miješalica radila kao obično visokofrekventno pojačalo.

Ponavljanje

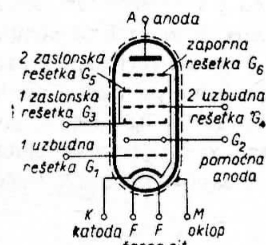
U *heksodnom miješanju s odvojenim oscilatorom i regulacijom fejdinga* spojen je ulazni krug na prvu uzbudnu rešetku heksode, koja dobiva istodobno i napon regulacije. Pomoćni titraji dovode se iz posebnog triodnog oscilatora na drugu uzbudnu rešetku. Kako sada obje uzbudne rešetke miješalice mogu imati najpovoljnije prednapone, ne može kod regulacije gotovo uopće doći do prebacivanja frekvencije. *Pojačanje miješanja* u miješalici može se izračunati iz jednadžbe: $V_u \approx S_ü \cdot \mathfrak{R}_a$. Ovdje je *S strmina miješanja* ili konverziona strmina, to jest odnos jakosti međufrekventne struje u anodnom krugu prema visokofrekventnom naponu na ulaznoj rešetki miješalice. Konverziona strmina raste s porastom strmine prve rešetke i s porastom visokofrekventnog napona pomoćnog oscilatora, a pada s povećavanjem negativnog regulacionog napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji smo moderniji način miješanja upoznali? *Odgovor:* Spoj za miješanje s reguliranom heksodom i odijeljenim oscilatorom. — *P.:* Koja je prednost upotrebe odijeljenog oscilatora? *O.:* Prilikom regulacije ne dolazi gotovo uopće do prebacivanja frekvencije ili izostajanja osciliranja. — *P.:* Kakve napone imamo na uzbudnim rešetkama heksodne miješalice? *O.:* Na prvoj uzbudnoj rešetki imamo ulazni izmjenični napon, osnovni prednapon i napon regulacije, a na drugoj prednapon i visokofrekventni napon pomoćnog oscilatora. — *P.:* Čemu služe zaslonske rešetke heksode? *O.:* One zaslanjaju drugu uzbudnu rešetku prema anodi i prema prvoj uzbudnoj rešetki. — *P.:* Koje naročito značenje ima osim toga druga zaslonska rešetka? *O.:* Ona povećava unutarnji otpor elektronke. — *P.:* Zašto je to povoljno? *O.:* Zbog dobivanja većeg pojačanja miješanja. — *P.:* Kako se pojačanje miješanja može izračunati? *O.:* Iz jednadžbe: $V_u \approx S_ü \cdot \mathfrak{R}_a$. — *P.:* Što je $S_ü$? *O.:* Konverziona strmina, to jest odnos jakosti međufrekventne struje u anodnom krugu prema ulaznom izmjeničnom naponu na prvoj rešetki miješalice.

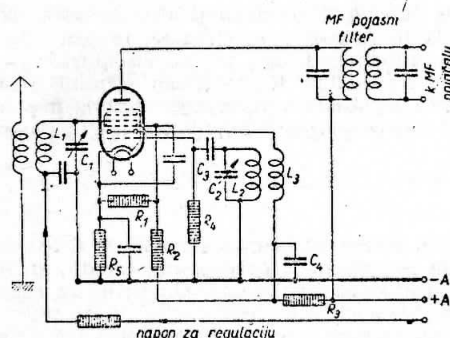
286. — Sada ćemo upoznati spojeve za miješanje, kojima ista elektronka služi za proizvođenje pomoćnih oscilacija, njihovo miješanje s primljenim titrajima, a da se pri tome može primijeniti i regulacija fejdinga. Elektronka koja bi se za to mogla upotrijebiti mora imati još dvije druge rešetke. Takva elektronka je *oktoda* (vidi dio I, odsjek 271). Oktodu (na primjer AK 2) možemo smatrati serijskim spojem triode i

heksode (sl. 207). T r i o d n i d i o sastoji se od katode K, prve uzbudne rešetke G_1 i pomoćne anode G_2. Pomoćna anoda koja se broji kao druga rešetka, sastoji se od dva štapića paralelna s katodom i zaslanja samo jedan malen dio puta elektrona. Ovaj triodni dio upotrebljava se kod miješanja oktodom (sl. 208) kao o s c i l a t o r, pa radi isto kao odijeljeni oscilator. Titrajni krug L_2—C_2, kojim je određena frekvencija pomoćnih titraja, spojen je na prvu rešetku, a reakcija se vrši preko zavojnice L_3 s pomoćne anode G_2 (istosmjerni napon 90 V). Elementi $R_4 = 50\ k\Omega$ — $C_3 = 100\ pF$ odjeljuju titrajni krug L_2—C_2 za istosmjernu struju od prve uzbudne rešetke, a pri tome na R_4 nastaje automatski negativan prednapon za prvu uzbudnu rešetku, kad oscilator oscilira. U anodnom krugu je reakcioni zapor $R_3 = 10\ k\Omega$ — $C_4 = 0{,}5\ \mu F$.



Sl. 207.

Prva uzbudna rešetka dobiva s katodnog otpora $R_5 = 250\ \Omega$ automatski osnovni prednapon od oko —1,5 V (da ne bi došlo do struje rešetke!).



Sl. 208.

287. — H e k s o d n i d i o sastoji se od »prividne (virtuelne) katode« (prostorni oblak pred drugom uzbudnom rešetkom G_4, vidi odsjek 220), prve zaslonske rešetke G_3, druge uzbudne rešetke G_4, druge zaslonske rešetke G_5 (G_3 i G_5 su spojene zajedno u samoj elektronki i na nožištu izvedene na zajedničku nožicu), zaporne rešetke G_6 (koja je u samoj elektronki spojena s katodom) i anode A. Druga uzbudna rešetka G_4 građena je kao e k s p o n e n c i j a l n a r e š e t k a (vidi odsjek 218), a izvedena je posebno na vrh balona. Vanjski oklop elektronke (metalna prevlaka) M izveden je na poseban kontakt oktalnog nožišta (vidi sl. 207). Kako na sl. 208. vidimo, dolaze visokofrekventni ulazni naponi s titrajnog kruga L_1—C_1 na d r u g u uzbudnu rešetku G_4, koja istodobno dobiva i regulacioni napon. Prvom zaslonskom rešetkom G_3 odijeljen je triodni dio oktode od heksodnog, pa se titraji pomoćnog oscilatora ne mogu prenositi u ulazni krug, odnosno u krug antene (vidi odsjek 282)[59]. Kako

[59]) Napon za zaslonske rešetke G_3 i G_5 (oko 70 V) uzima se s djelitelja napona $R_1 + R_2 + R_3 = 12{,}5\ k\Omega + 2\ k\Omega + 10\ k\Omega$.

pomoćna anoda G_2 zastire samo malen dio puta elektrona, može se proces regulacije fejdinga prenijeti tek u neznatnoj mjeri na oscilatorski krug. Uslijed toga je prebacivanje frekvencije u području srednjih i duljih valova neznatno. Zaporna rešetka G_6 sprečava na poznat način stvaranje struje sekundarnih elektrona (vidi dio I, odsjek 277) i istodobno povećava unutarnji otpor oktode, što daje vrlo veliko povećanje vrijednosti pojačanja miješanja i konverzione strmine. Inače spoj s oktodom radi jednako kao i spoj s heksodom s m u l t i p l i k a t i v n i m miješanjem, pri čemu druga uzbudna rešetka djeluje opet kao razdjelna rešetka (vidi odsjek 281).

288. — Oktodni spoj možemo zbog njegove jednostavnosti susresti u vrlo velikom broju prijemnika. Mora se međutim naglasiti da s ovakvim spojem kod p r i j e m a k r a t k i h v a l o v a dolazi do prilično velikog prebacivanja frekvencija. Ako se naime prednapon druge uzbudne rešetke G_4 oktode uslijed regulacije mijenja, dolazi do promjene podjele jakosti struje između pomoćne anode G_2 i prve zaslonske rešetke G_3. Uslijed toga mijenja se i unutarnji otpor između pomoćne anode G_2 i katode K, pa dolazi do promjene aktivnog otpora titrajnog kruga L_2—C_2. Ova pojava ima u području kratkih valova za posljedicu prilično razgođenje oscilatora, dekle prebacivanje frekvencije. U tom pogledu je spoj s heksodom s odijeljenim oscilatorom mnogo bolji (vidi odsjek 283). Konverziona strmina i promjene te strmine s promjenama regulacionog napona (područje regulacije) otprilike jednako su velike kod heksode i oktode (vidi odsjek 285).

Ponavljanje

Spojevi s oktodom omogućuju proizvođenje pomoćnih oscilacija, njihovo multiplikativno miješanje s ulaznim titrajima uz istodobnu regulaciju fejdinga, sve s jednom elektronkom. Za miješalicu se upotrebljava pri tome *oktoda*. Po djelovanju odgovara oktoda serijskom spoju triode i heksode. T r i o d n i d i o djeluje kao oscilator i sastoji se od katode, prve uzbudne rešetke i pomoćne anode. Titrajni krug oscilatora spojen je s p r v o m rešetkom, a reakcija dolazi s pomoćne anode. H e k s o d n i d i o sastoji se od prividne katode, prve zaslonske rešetke, druge uzbudne rešetke, druge zaslonske rešetke, zaporne rešetke i anode. Ulazni izmjenični naponi dovode se na d r u g u uzbudnu rešetku, koja dobiva također i napon regulacije. Prebacivanje frekvencije u području srednjih i dugih valova je neznatno, ali se u području kratkih valova primjećuje prilično. Konverziona strmina i područje regulacije oktode odgovaraju približno sličnim veličinama kod heksode.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je u principu građena oktoda? *Odgovor:* Ona se sastoji od serijskog spoja triodnog dijela (katoda, prva uzbudna rešetka, pomoćna anoda) i heksodnog dijela (prividna katoda, prva zaslonska rešetka, druga uzbudna rešetka, druga zaslonska rešetka, zaporna rešetka i anoda). — *P.:* Kako je kod spoja s oktodom priključen ulazni titrajni krug i titrajni krug pomoćnog oscilatora? *O.:* Ulazni titrajni krug spojen je na d r u g u uzbudnu rešetku, a titrajni krug pomoćnog oscilatora na

p r v u uzbudnu rešetku. — *P.*: Na koju se rešetku dovodi regulacioni napon? *O.*: Na drugu uzbudnu rešetku. — *P.*: Što je naročito kod ove rešetke? *O.*: Ona je izvedena kao eksponencijalna rešetka (promjenljiv uspon). — *P.*: Koja je svrha zaporne rešetke? *O.*: Ona sprečava djelovanje sekundarnih elektrona i povećava unutarnji otpor elektronke. — *P.*: Da li i kod oktode moramo računati s prebacivanjem frekvencije? *O.*: Prebacivanje frekvencije je u području srednjih i dugih valova neznatno, dok je u području kratkih valova znatno veće. — *P.*: Što se preporučuje zbog toga kod prijema kratkih valova, ako je primijenjen spoj s oktodom? *O.*: Iskapčanje regulacije fejdinga kod oktode.

Pitanja

138. Kako se mijenja konverziona strmina miješalice u ovisnosti o regulacinom naponu i pomoćnom visokofrekventnom naponu?

139. Koliko rešetki ima oktoda i kako je postavljena pomoćna anoda?

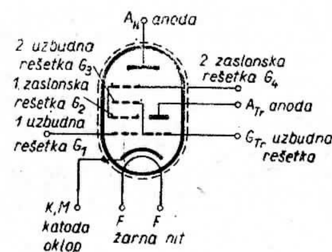
140. Da li je za prijem kratkih valova bolji spoj s oktodom ili s heksodom?

Zadaci

97. Najveća strmina r e g u l i r a n e heksode je 1,8 mA/V: a) Kolika može biti u najpovoljnijem slučaju konverziona strmina, ako ista elektronka radi kao miješalica? b) Kolika je u tom slučaju tjemena vrijednost jakosti međufrekventne struje, ako je tjemena vrijednost ulaznog izmjeničnog napona 200 mV?

98. Na oktodu, koja je upotrijebljena kao miješalica u jednom superu, dovodi se ulazni visokofrekventni napon od 150 μV. Aktivni otpor međufrekventnog pojasnog filtra je 150 kΩ, a konverziona strmina bez regulacije 0,6 mA/V: a) Koliko je pojačanje miješanja oktode? b) Koliki je izmjenični napon na međufrekventnom pojasnom filtru?

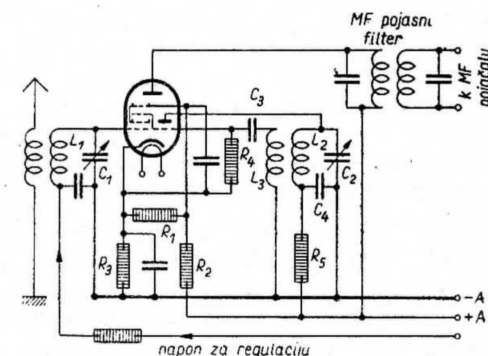
289. — Vratimo se opet na spoj s heksodom s posebnim oscilatorom (vidi sl. 206). Ovaj spoj, koji se pokazao naročito dobar s obzirom na prebacivanje frekvencije (vidi odsjek 283), može se pojednostavniti time da se heksoda i trioda ujedine u jednu *kombiniranu elektronku*. Takva kombinirana elektronka je *trioda-heksoda*. O njoj smo (na primjer ACH 1) govorili u dijelu I, odsjeku 259. i sl. 188. Prednost ovakve kombinirane elektronke pred dvjema pojedinačnima je ušteda energije i prostora u prijemniku. Kako se na sl. 209. vidi, imamo u ovakvoj elektronki iznad zajedničke katode triodni i heksodni dio. T r i o d n i d i o (desno) sastoji se od katode *K*, uzbudne rešetke G_{Tr} i anode A_{Tr}. Uzbudna rešetka spojena je u samoj elektronki s drugom uzbudnom rešetkom G_3 heksodnog dijela. H e k s o d n i d i o (lijevo) sastoji se od katode *K*, prve uzbudne rešetke G_1 (regulaciona rešetka), prve zaslonske rešetke G_2, druge uzbudne rešetke G_3, druge zaslonske rešetke G_4 i anode A_H. Zaslonske rešetke G_2 i G_4 spojene su



Sl. 209.

u samoj elektronki zajedno i tako izvedene na nožište. Vanjski metalni oklop *M* vezan je kod ove elektronke direktno na katodu *K*.

290. — Na sl. 210. vidimo jedan *spoj s triodom-heksodom*. Njegovo djelovanje moralo bi iz tumačenja k sl. 206. biti bez daljnjega jasno, jer su oba spoja u biti jednaka. Jedina je razlika u oscilatoru (triodni dio), koji je izveden nešto drugačije. Predotpor R_5 = 30 kΩ spojen je u s e r i j u s pomoćnim titrajnim krugom L_2—C_2, pa je taj krug zbog toga manje prigušen, nego u paralelnom spoju, a uslijed toga oscilator radi jednolično i u području kratkih valova. Pri tome R_5=30 kΩ — C_4=0,5 μF djeluje kao reakcioni zapor, a sam kondenzator C_4 omogućuje osim toga spajanje rotora promjenljivog kondenzatora C_2 na minus-vod. Katodni otpor R_3 = 220 Ω daje automatski osnovni prednapon otprilike —2 V za heksodni dio. Djelitelj napona za napon zaslonske rešetke (oko +70 V) sastoji se opet od dva u seriju spojena otpora R_1 = 25 kΩ i R_2=50 kΩ (uz pogonski istosmjerni napon od 300 V). Odvodni otpor rešetke R_4 ima oko 20 kΩ, a kondenzator u krugu rešetke C_3 oko 100 pF. Uslijed razmjerno malenog odvodnog otpora u rešetki pomiče se radna tačka triodnog dijela pri najvećem naponu pomoćnog oscilatora od nekih 10 V_{ef} automatski prema prednaponu uzbudne rešetke od kojih —15 V. U tom slučaju teče kroz odvodni otpor u rešetki R_4 istosmjerna struja od približno 0,75 mA. Pod ovim uvjetima dobivamo m a k s i m a l n u strminu miješanja od 0,75 mA/V, no ona pri maksimalnom naponu regulacije od —20 V padne na 0,001 mA/V. Maksimalno područje regulacije strmine miješanja iznosi prema tome 1 : 750, ali je ono praktički samo 1 : 300 (uzimajući u obzir dopušteno izobličenje!)



Sl. 210.

291. — Spoj s triodom-heksodom, koji je već i sam po sebi vrlo dobar, može se primjenom novih č e l i č n i h e l e k t r o n k i još i poboljšati. U tu svrhu dolazi na primjer u obzir *kombinirana čelična elektronka ECH 11* (vidi sl. 188). Ova je elektronka jedina miješalica u »harmoničkoj seriji« (vidi odsjek 253). Zbog njezinih vrlo dobrih svojstava moglo se odustati od konstrukcije čelične oktode. Kombinirana elektronka ECH 11 predstavlja u poredbi s miješalicom ACH 1 osim uštede prostora i energije trošene na žarnu nit također i električke prednosti, koje rezultiraju iz primjene kliznog napona zaslonske rešetke (vidi odsjek 254) i zbijene konstrukcije, o kojoj je već bilo govora u odsjeku 253.

Uslijed toga je prebacivanje frekvencije toliko maleno, da ECH 11 izvrsno radi u području kratkih, pa i ultrakratkih valova (do 5 m). Regulaciona svojstva ove elektronke također su bolja od istih svojstava elektronki o kojima smo dosada govorili. To je postignuto time, što uzbudne rešetke G_1 i G_3 (vidi sl. 209) heksodnog dijela imaju promjenljiv uspon, to jest one su regulacione rešetke. Uspon obiju rešetki poklapa se u širokim granicama. Regulacioni napon dovodi se međutim, kao i kod ACH 1, isključivo na prvu uzbudnu rešetku.

292. — Spojevi za miješanje, u kojima se upotrebljava trioda-heksoda ECH 11, odnosno ACH 1, u biti su međusobno jednaki, pa bi dodavanje neke nove sheme, koja bi prikazivala spoj za miješanje s elektronkom ECH 11, bilo suvišno. Primijetit ćemo jedino da je sada vrijednost odvodnog otpora rešetke R_4 jednaka 50 kΩ. Sad imamo, kad oscilator oscilira, i uz istosmjernu struju rešetke od 0,15 mA, dodatni prednapon uzbudne rešetke (za G_{Tr}) od 0,15 mA × 50 kΩ = 7,5 V. Strmina miješanja je 0,650 mA/V bez regulacije, a pri regulaciji s regulacionim naponom od —13 V i stalnim naponom zaslonske rešetke (100 V) padne ova strmina na 0,00325 mA/V. Pri regulacionom naponu od —21 V i kliznom naponu zaslonske rešetke (do 250 V) strmina miješanja je oko 0,0016 mA/V. Iz toga slijedi da je regulacioni odnos strmine miješanja 1 : 200, odnosno 1 : 400. Kod ovih vrijednosti radi se međutim o *optimalnom području regulacije,* za razliku od onog o kojem smo dosada govorili, dakle ne o najvećem uopće mogućem odnosu. Optimalno područje regulacije daje se kod novijih elektronki uvijek tako, da izobličenje nikad ne prijeđe dopuštene granične vrijednosti. Tvornice elektronki daju odgovarajuće karakteristike, iz kojih se može vidjeti koje su najpovoljnije pogonske vrijednost.

Ponavljanje

Spoj za miješanje s triodom-heksodom upotrebljava kombiniranu elektronku, koja je sastavljena od triodnog i heksodnog dijela sa zajedničkom katodom. Ovakva elektronka je *trioda-heksoda* (na primjer ACH 1). U biti se spoj s ovakvom elektronkom ne razlikuje od spoja s heksodom i odijeljenim oscilatorom. Primjena triode-heksode omogućuje međutim uštedu prostora i snage utrošene na žarenje niti. Naročito se preporučuje upotreba novih *čeličnih kombiniranih elektronki* (na primjer trioda-heksoda ECH 11). Kod ovih elektronki je prebacivanje frekvencije čak i u području ultrakratkih valova izvanredno maleno. Osim toga imaju one mnogo bolja svojstva nego starije elektronke i u pogledu regulacije. Kod novih elektronki ne daje se više maksimalno, nego *optimalno područje regulacije,* a to je područje u kojem visokofrekventna izobličenja ne prelaze dopuštenu graničnu vrijednost.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je trioda-heksoda? *Odgovor:* Elektronka za miješanje, koja se sastoji od triodnog i heksodnog dijela sa zajedničkom katodom. — *P.:* Kakve prednosti pruža spoj za miješanje, u kojem se primjenjuju ovakve elektronke? *O.:* Uštedu prostora i energije za žarenje žarne niti prema spoju s heksodom i odijeljenim oscilatorom. — *P.:* Kako se u spoju s triodom-heksodom dobiva negativni prednapon rešetke oscilatora? *O.:* Kao pad napona na odvodnom otporu rešetke, koji dolazi od istosmjerne struje rešetke prouzrokovane izmjeničnim naponom pomoćnog oscilatora. — *P.:* O čemu je ovisna veličina ovog prednapona? *O.:* O tjemenoj vrijednosti napona oscilatora. — *P.:* Koje miješalice daju u spoju za miješanje s triodom-heksodom najbolje rezultate? *O.:* Nove čelične kombinirane elektronke, na primjer trioda-heksoda ECH 11. — *P.:* Kakve su prednosti ove elektronke? *O.:* Ušteda prostora i snage za žarenje, povoljnija svojstva regulacije i vrlo malo prebacivanje frekvencije čak i u ultrakratkim valovima. — *P.:* Čime se objašnjavaju ove prednosti? *O.:* Zbijenom izvedbom i malim unutarnjim kapacitetima, i time da su obje uzbudne rešetke heksodnog dijela izvedene kao regulacione rešetke. — *P.:* Na koju se rešetku dovodi regulacioni napon? *O.:* Samo na prvu uzbudnu rešetku. — *P.:* Što je optimalno područje regulacije? *O.:* To je područje regulacije unutar kojega su izobličenja ispod dopuštenih vrijednosti.

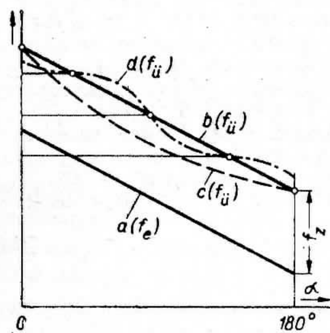
Usklađivanje oscilatora

293. — Budući da je promjenljivi kondenzator ulaznog titrajnog kruga i titrajnog kruga oscilatora u superu vezan zajedničkom osovinom, kako bi se omogućilo ugađanje jednim dugmetom, moramo se pobrinuti da se hod ovih dvaju promjenljivih kondenzatora uskladi. U direktnim prijemnicima ne predstavlja usklađivanje krivulja ugađanja pojedinih titrajnih krugova nikakvu naročitu poteškoću, jer svi titrajni krugovi moraju da budu ugođeni na istu frekvenciju. Kod supera naprotiv mora u svakom položaju α promjenljivi kondenzator u oscilatorskom dijelu, koji se okreće istodobno, omogućiti osciliranje na frekvenciji $f_{\ddot{u}} - f_e = f_z$, koja se za stalan iznos f_z razlikuje od frekvencije ulaznog titrajnog kruga f_e (krivulja *a* i *b* na str. 211). Kako frekvencija oscilatora mora biti uvijek za iznos f_z viša od frekvencije ulaznog titrajnog kruga, mora i odgovarajući kapacitet promjenljivog kondenzatora u titrajnom krugu oscilatora biti za odgovarajući iznos manji od kapaciteta promjenljivog kondenzatora ulaznog titrajnog kruga (vidi numerički primjer u odsjeku 272). To se može postići tako da se rotorskim pločama promjenljivog kondenzatora oscilatora dade poseban oblik[60]). Mana ovog postupka je na žalost, da je primjenljiv samo u jednom prijemnom području. Kako međutim evropski prijemnici imaju najmanje dva prijemna područja (srednji i dugi val), moralo bi se u njima upotrijebiti i dva različita promjenljiva kondenzatora za titrajni krug oscilatora. Iz ekonomskih razloga ne bi to međutim dolazilo praktički u obzir.

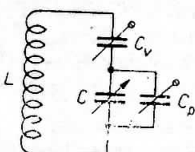
294. — Željeni paralelni pomak krivlja ugađanja uz primjenu jednakih promjenljivih kondenzatora u ulaznom titrajnom krugu i

[60]) O značenju oblika ploča rotora kod promjenljivih kondenzatora općenito je bilo govora već u dijelu I, odsjecima 226. do 230.

titrajnom krugu oscilatora može se postići priličnom tačnošću takoder i dodavanjem paralelnih i serijskih kondenzatora. Objasnit ćemo to pomoću sl. 212. Titrajni krug, koji na toj slici vidimo. može se ugoditi na frekvenciju koju moraju imati pomoćni titraji, promjenljivim kondenzatorom C i zavojnicom L. C_p je *paralelni trimer*, kojim se određuje početni kapacitet titrajnog kruga, a C_v kondenzator za skraćivanje (nekoliko stotina pF). Kad je promjenljivi kondenzator C posve otvoren, bit će ukupni kapacitet titrajnog kruga određen uglavnom kapacitetom ($C_p + C_a$), gdje je C_a početni kapacitet promjenljivog kondenzatora C (paralelan spoj!). Pomoću paralelnog trimera C_p možemo dakle namjestiti potrebni početni kapacitet, odnosno odrediti gornju graničnu frekvenciju titrajnog kruga. Ako promjenljivi kondenzator C posve zatvorimo, bit će ukupni kapacitet određen serijskim spojem kapaciteta C i C_v. Neznatni početni kapacitet C_a može se sada zanemariti. Ako je veličina kapaciteta C_v ispravno odabrana, može se dobiti željena vrijednost konačnog kapaciteta, odnosno donja granična frekvencija titrajnog kruga. Umetanjem kondenzatora za skraćivanje C_v postaje ukupni kapacitet manji od onoga koji bismo imali kad bi postojao samo promjenljivi kondenzator C. To smo upravo i htjeli postići, jer frekvencija oscilatora mora da bude uvijek za veličinu međufrekvencije viša od frekvencije ulaznog titrajnog kruga. Promjenljivi kondenzator ulaznog titrajnog kruga usklađen je s promjenljivim kondenzatorom titrajnog kruga oscilatora u ovom slučaju samo u dva konačna položaja (krivulja c na sl. 211). Između tih dviju tačaka imamo veću ili manju neusklađenost. Ova neusklađenost može se međutim svesti na minimalnu podnošljivu vrijednost, ako kapacitete C_v i C_p odredimo računom i pokusima, tako da imamo usklađenost *u tri tačke*. Iz krivulje *d* na sl. 211. vidimo da su pogreške kod triju frekvencija ulaznog titrajnog kruga f_1, f_2 i f_3 jednake nuli. Izbor frekvencija na kojima je usklađenost potpuna, nije sam po sebi od naročitog značenja. Kako međutim u tim trima tačkama prijemnik ima najveću selektivnost i najveće pojačanje, nastojat ćemo da te tačke odgovaraju onim frekvencijama na kojima ta svojstva našeg prijemnika želimo u najvećoj mjeri iskoristiti.

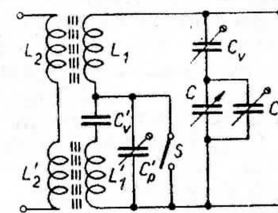


Sl. 211.



Sl. 212.

295. — Na slici 213. vidimo za primjer titrajni krug supera, u kojem postoji mogućnost prekapčanja. L_1 i L_1' su zavojnice titrajnog kruga, a L_2 i L_2' reakcione zavojnice. Kod prijema srednjih valova zavojnica za duge valove L_1' kratko se spaja preklopcem S. Primjećujemo osim kondenzatora za izjednačenje C_p i C_v (vidi sl. 211) i kondenzator za izjednačenje C_p' i C_v'. Da bismo naime postigli ukladenost između ulaznog titrajnog kruga i titrajnog kruga oscilatora u oba područja, moramo usklađivanje izvesti u području srednjih valova kondenzatorima C_p i C_v, a u području dugih valova posebno kondenzatorima C_p' i C_v'. Suvišno je napominjati da je za usklađivanje potrebno ugoditi i ulazni krug pomoću trimera, a također i odgovarajuće zavojnice (vidi odsjek 262), jer se samo na taj način može postići savršeno usklađenje u tri tačke.



Sl. 213.

Ponavljanje

Usklađivanje promjenljivih kondenzatora, potrebno kod pogona jednim dugmetom, mnogo je teže kod supera nego kod direktnog prijemnika. Kako se frekvencija oscilatora mora uvijek razlikovati za iznos međufrekvencije od frekvencije ulaznog titrajnog kruga, moraju krivulje koje pokazuju ovisnost frekvencije o položaju promjenljivog kondenzatora za ulazni titrajni krug, odnosno titrajni krug oscilatora, biti međusobno pomaknute. Ovaj pomak mora da bude po mogućnosti jednak na čitavom području koje dolazi u obzir za prijem. Taj zahtjev može se ispuniti tako, da se upotrebljavaju promjenljivi kondenzatori s posebnim oblikom ploča rotora u titrajnom krugu oscilatora, ali je u tom slučaju potreban poseban promjenljivi kondenzator u titrajnom krugu oscilatora za svako područje, koje želimo primati. Ako se međutim želi za sva područja upotrijebiti isti promjenljivi kondenzator, mora se željeni paralelni pomak spomenutih krivulja postići upotrebom *paralelnih i serijskih kondenzatora*. Trimerom, koji je spojen promjenljivom kondenzatoru oscilatora paralelno, namješta se određeni početni kapacitet, a serijskim kondenzatorom za skraćivanje potrebni konačni kapacitet titrajnog kruga oscilatora. Pažljivim izborom veličine paralelnog i serijskog kondenzatora može se postići savršena usklađenost i tri tačke. Razlike za druge tačke iz područja koje želimo primati nisu više u tom slučaju prevelike.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto je postizavanje usklađenosti promjenljivih kondenzatora u superu teže nego u direktnom prijemniku? *Odgovor:* Zato što ulazni titrajni krug i titrajni krug oscilatora ne smiju biti ugođeni na istu frekvenciju. — *P.:* Kakav zahtjev slijedi iz toga? *O.:* Krivulje koje pokazuju ovisnost frekvencije o položaju promjenljivog kondenzatora moraju kod ulaznog titrajnog kruga i titrajnog kruga oscilatora biti međusobno pomaknute. — *P.:* Čime se to može postići? *O.:* Primjenom promjenljivog kondenzatora, u kojemu ploče rotora u titrajnom krugu oscilatora imaju poseban oblik. — *P.:* Kakve su mane ovog postupka? *O.:* Ako želimo primati više područja, moramo za svako područje imati poseban promjenljivi kondenzator u oscilatoru. — *P.:* Kako se postizava usklađivanje, ako za sva područja želimo upotrijebiti isti promjenljivi kondenzator? *O.:* U svim titrajnim krugovima upotrebljavamo tada paralelne trimere, a u titrajnom krugu oscilatora osim toga i kondenzator za skraćivanje. — *P.:* Što je svrha paralelnih trimera? *O.:* Ugađanje svih

titrajnih krugova na jednak početni kapacitet. — *P.*: Čemu služe kondenzatori za skraćivanje? *O.*: Za dobivanje potrebnog konačnog kapaciteta titrajnog kruga oscilatora. — *P.*: Prema čemu se određuje taj konačni kapacitet? *O.*: U prvom redu prema veličini međufrekvencije. — *P.*: Da li se na taj način može postići savršeno usklađivanje? *O.*: Pri ispravnom izboru veličine paralelnog i serijskog kondenzatora može se postići savršeno usklađenje samo u t r i tačke. — *P.*: Je li to za praksu dovoljno? *O.*: Da, jer razlike u ostalim tačkama iz područja prijema nisu naročito velike.

Pitanja

141. Koje smo moderne spojeve za miješanje upoznali?

142. Kakvo je značenje slova na oznakama elektronki AH 1, AK 2 i ECH 11?

143. Na što je potrebno paziti pri usklađivanju oscilatora koji se može prekapčati na razna prijemna područja?

Zadaci

99. Strmina miješanja jednog supera bez regulacije je 0,75 mA/V, a s regulacijom 10μA/V. U anodnom krugu miješalice nalazi se kritično vezan međupojasni pojasni filtar s impedancijom od 300 kΩ. Koliko je pojačanje mješanja: a) s regulacijom; b) bez regulacije; c) u kojem odnosu stoje pojačanja miješanja?

100. Promjenljivi kondenzator ulaznog titrajnog kruga u spoju za miješanje ima početni kapacitet 25 pF i konačni kapacitet 550 pF: a) Koliki mora da bude kapicitet paralelnog trimera, ako se ulazni titrajni krug mora da dade ugoditi na frekvencije od 500 do 1 500 kHz? b) Koliki mora da bude induktivitet u titrajnom krugu?

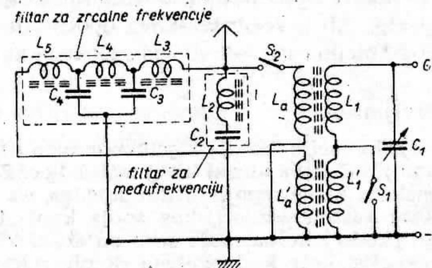
101. U spoju za usklađivanje prema sl. 212. iznose kapaciteti promjenljivog kondenzatora 400 pF, paralelnog trimera 50 pF, a kondenzatora za skraćivanje 600 pF: Koliki je ukupni kapacitet titrajnog kruga?

Poboljšanje predselekcije

296. — Kao što znamo iz odsjeka 268, potrebno je spriječiti da na ulaznu rešetku miješalice ne dođu signali odašiljača, koji imaju prijenosnu frekvenciju jednaku ili gotovo jednaku međufrekvenciji. U tom slučaju dolazi naime do izobličenja i zviždanja, što se pojavljuje na c i j e l o m prijemnom području. Ovakve smetnje mogu se otkloniti samo dovoljno velikom *predselekcijom.* U tu svrhu potrebno je u antenski krug ugraditi *međufrekventni filtar (»filtar protiv interferencije«)* L_2—C_2[61]). Ovaj se filtar sastoji od *usisnog kruga* ugođenog na međufrekvenciju, dakle od serijskog spoja induktiviteta L_2 i kapaciteta C_2 (vidi dio I, odsjek 210. i sl. 156-b), a spojen je paralelno antenskom krugu.

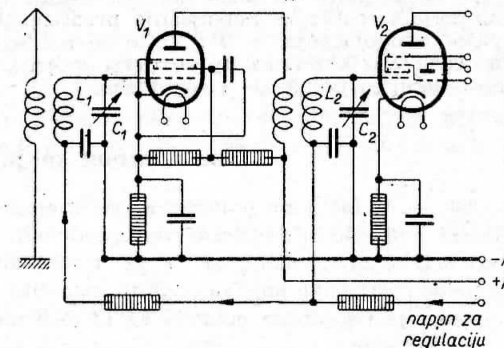
61) Time se istodobno sprečava isijavanje eventualnih ostataka međufrekventnih titraja.

Zavojnica ulaznog titrajnog kruga sastoji se, kao i obično, od dva dijela L_1 i L_1', a antenska zavojnica od dijelova L_a i L_a'. Kod prijema srednjih valova spaja se zavojnica L_1' kratko sklopkom S_1 (sklopka S_2 tada je također zatvorena).



Sl. 214.

297. — Predselekcija se osim kako je rečeno može poboljšati *filtrom za zrcalne frekvencije,* koji se sastoji od tri zavojnice L_3, L_4 i L_5 i kondenzatora C_3 i C_4. Filtar za zrcalne frekvencije spojen je u seriju s dijelom zavojnice L_a' za duge valove, a svrha mu je da u prijemu dugih valova sprečava da ne dođe do međufrekventnih titraja koji nastaju interferencijom titraja pomoćnog oscilatora i titraja sa zrcalnim frekvencijama. Filtar za zrcalne frekvencije moramo prema tome izvesti kao višečlani filtar, kako se to vidi na sl. 214, i to tako da on sve zrcalne frekvencije područja dugih valova potisne, a samo područje dugih valova propusti. Kod međufrekvencije od 468 kHz dovoljno je za područje dugih valova da filtar za zrcalne frekvencije bude izveden za područje od 1 236 kHz, do 1 086 kHz, to jest za područje od 242 m do 276 m (vidi odsjek 272). Ovo područje pada dakle još u područje prijema. Ako je induktivitet zavojnice L_4 d v a p u t a veći od zavojnica L_3 i L_5, koje su međusobno jednake, onda će filtar prigušivati sve frekvencije i z n a d granične frekvencije $f_0 = 1/(\pi\sqrt{L_4 \cdot C_4})$, ako je $C_3 = C_4$. Preporučuje se da se za graničnu frekvenciju f_0 uzme oko 800 kHz (uz međufrekvenciju 468 kHz). Kod prijema dugih valova potrebno je sklopku S_2 o t v o r i t i, kako filtar za zrcalne frekvencije ne bi bio kratko spojen razmjerno malenom antenskom zavojnicom L_a. Obje sklopke S_1 i S_2 imaju zajednički pogon. Ako je ulazni krug miješalice p o j a s n i f i l t a r sa dva kruga, bit će predselekcija u većini slučajeva već dovoljno velika, pa je ugradnja filtra za zrcalne frekvencije suvišna.



Sl. 215.

298. — Najefikasnije, ali i najskuplje sredstvo za poboljšanje predselekcije je upotreba *predstupnja* s reguliranom pentodom ili heksodom. Na sl. 215. prikazan je takav jedan spoj s reguliranom pentodom V_1. Ovaj spoj podudara se

posve s onim na sl. 170. Drugi titrajni krug L_2—C_2 priključen je na prvu uzbudnu rešetku triode-heksode V_2 (miješalice), koja je također regulirana. Ovakvim spojevima ne povećava se samo selektivnost, nego istodobno dolazi i do znatnog povećanja ukupnog pojačanja[62]) i poboljšanja regulacije. Zbog većih troškova upotrebljava se ovaj spoj međutim samo u prijemnicima sa šest ili više elektronki.

Ponavljanje

Frekvencije koje su jednake međufrekvencijama, ne smiju u superima proći kroz ulazni krug miješalice. Zbog toga je potrebno paralelno antenskom krugu spojiti *filtar ugođen na međufrekvenciju supera.* Ovaj se filtar sastoji od serijskog spoja kapaciteta i induktiviteta. Da se poboljša predselekcija, može se u antenski krug ukopčati i *filtar za zrcalne frekvencije,* koje kod prijema dugih valova padaju u područje prijema. Filtar za zrcalne frekvencije uputno je izvesti kao višečlani filtar i ugoditi ga na donju graničnu frekvenciju od 800 kHz, ako je međufrekvencija 468 kHz. Najdjelotvornije sredstvo za poboljšanje predselekcije je *spoj s predstupnjem,* u kojem se za pojačalo može upotrijebiti regulirana pentoda ili heksoda. Ovim spojem postizava se znatno povećanje selektivnosti, povećava se pojačanje i poboljšava regulacija.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Na koji se način može spriječiti dolaženje titraja s frekvencijom jednakom međufrekvenciji u krug rešetke miješalice? *Odgovor:* Dovoljno velikom predselekcijom, na primjer pomoću filtra za međufrekvenciju. — *P.:* Što je filtar za međufrekvenciju i kako je on izveden? *O.:* To je serijski spoj induktiviteta i kapaciteta, dakle usisni krug, ugođen na međufrekvenciju i spojen paralelno antenskom krugu. — *P.:* Kakva smo druga sredstva za poboljšanje predselekcije upoznali? *O.:* Filtar za zrcalne frekvencije. — *P.:* Što je filtar za zrcalne frekvencije? *O.:* Filtar sastavljen od više zavojnica i kondenzatora, koji potiskuje sve frekvencije iznad određene granične frekvencije. — *P.:* Što je svrha ovog filtra? *O.:* Spriječiti pristup na rešetku miješalice zrcalnim frekvencijama, koje kod prijema dugih valova padaju u područje prijema. — *P.:* Da li je filtar za zrcalne frekvencije uvijek potreban? *O.:* Ne, on je potreban samo kod nedovoljne predselekcije. — *P.:* Koje je najbolje sredstvo za poboljšanje predselekcije? *O.:* Upotreba jednog stupnja predpojačanja. — *P.:* Zašto se na taj način dobivaju naročito dobri rezultati? *O.:* Zato što se ovim spojem znatno poboljšava selektivnost, ukupno pojačanje i regulacija.

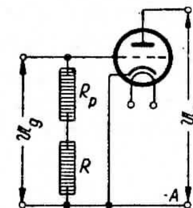
Šum ulaznog spoja

299. — Budući da u pojačalu s više stupnjeva mogu *šum elektronki i toplinski šum* vrlo loše utjecati na reprodukciju u zvučniku (vidi odsjeke 67, 68 i 193), preporučuje se da se u visokofrekventnom pretpojačalu upotrijebe elektronke koje se odlikuju naročito *malenim šumom.* Ovakva elektronka je regulirana pentoda EF 13 (čelična elektronka). Kako bi se

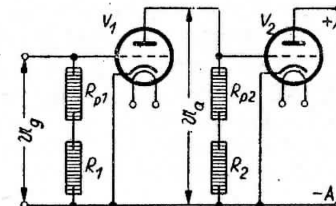
---

[62]) Ovo je naročito važno u prijemu kratkih valova, jer je tu aktivni otpor za izmjeničnu struju ulaznog kruga samo 5 do 10 kΩ prema 50 do 100 kΩ u području srednjih i dugih valova.

dobila slika o svojstvima elektronke u pogledu šuma, uveden je pojam *otpora šuma elektronke.* Šum elektronke može se naime usporediti toplinskim šumom, jer oba imaju jednako djelovanje. Toplinski šum nastaje prema odsjeku 67. uslijed nejednolikog gibanja elektrona unutar vodiča, te stoga nastaju na primjer na krajevima titrajnog kruga nejednolike promjene napona, takozvani *napon šuma.* Otpor šuma elektronke R prikazuje se prema tome omskim otporom zamišljenim u krugu rešetke i spojenim u seriju s omskim otporom paralelne rezonancije R_p ulaznog titrajnog kruga (sl. 216). Ovaj bi otpor pri istoj širini pojasa i pri sobnoj temperaturi dao na rešetki elektronke napon šuma jednok onome što ga ima elektronka.[63]) *Ukupni otpor šuma* jednog stupnja je prema tome: $R_{ges} = R + R_p$. Ako želimo odrediti ukupni otpor šuma prvih stupnjeva prijemnika (na primjer pretpojačala i miješalice supera), onda je ukupni otpor prvog stupanja šuma $(R_1 + R_{p1})$, a drugog $(R_2 + R_{p2})$, gdje je R_1, odnosno R_2, otpor šuma elektronki, a R_{p1}, odnosno R_{p2}, rezonantni otpor titrajnih krugova (sl. 217). Ukupni otpor šuma $(R_2 + R_{p2})$ drugog stupnja V_2 djeluje zbog naponskog pojačanja V_u prve elektronke V_1 kao ukupni otpor šuma $(R_2 + R_{p2})/V_u^2$ u krugu rešetke p r v e elektronke.[64]) Iz toga dobivamo za ukupni otpor šuma u oba stupnja (sl. 218):



Sl. 216.



Sl. 217.

$$R_{ges} = R_1 + R_{p1} + \frac{R_2 + R_{p2}}{V_u^2} \quad . \; . \; . \; . \quad (75)$$

300. — Poznavanje ukupnog otpora šuma (šum elektronke + šum krugova) R_{ges} omogućuje da se može približno izračunati n a j m a n j a efektivna vrijednost izmjeničnog napona na ulaznoj rešetki (ukupni napon šuma) $\mathfrak{U}_{g0}$, koji se upravo još može iskoristiti, a da se ne padne ispod razine šuma. Ako međutim želimo postići **prijem uistinu bez smetnji,** mora korisni ulazni izmjenični napon da bude najmanje sto puta veći. Mjerenja su dala jednadžbu:

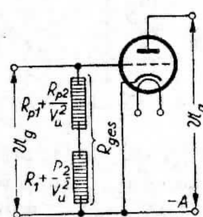
$$\mathfrak{U}_{g0} = 0{,}13 \cdot \sqrt{R_{ges} \cdot b}\;[\mu V_{ef}] \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (76)$$

---

[63]) Otpor od 10 kΩ daje na primjer kod širine pojasa od 9 kHz napon šuma oko 1,2 μV_{ef}.

[64]) U svakoj elektronki moraju izmjenične snage u anodnom krugu i u krugu rešetke biti jednake. Ako je općenito R_g otpor u krugu rešetke, a R_a otpor u krugu anode, onda prema jedn. (52) vrijedi: $\mathfrak{U}_g^2/(2\,R_g) = \mathfrak{U}_a^2/(2\,R\,)$; kako je $\mathfrak{U}_a = V_u \cdot \mathfrak{U}_g$, dobivamo: $\mathfrak{U}_g^2/R_g = V_u^2 \cdot \mathfrak{U}_g^2/R_a$, to jest $R_g = R_a/V_u^2$.

U ovu jednadžbu moramo uvrstiti ukupni otpor šuma R_{ges} u [kΩ], a širinu pojasa b u [kHz] (vidi dio I, odsjek 124), ako želimo efektivni napon šuma U_{g0} dobiti u [μ V_{ef}]. Iz jedn. (76) vidimo da napon šuma raste s drugim korijenom ukupnog otpora šuma i širine pojasa. Za današnje miješalice možemo računati s otporom šuma od 50 do 100 kΩ, a za regulirane elektronke s otporom od 10 do 20 kΩ. Otpor šuma nove regulirane pentode EF 13 iznosi međutim svega oko 2,5 kΩ. Ako se ova elektronka upotrebljava za pretpojačavanje, onda je njezin šum bez važnosti u usporedbi sa šumom krugova, čak i u području kratkih i ultrakratkih valova. Ovaj naročito niski šum postignut je povoljnim odnosom struje zaslonske rešetke prema anodnoj struji. Šum je naime mnogo veći kod elektronki sa zaslonskom rešetkom (naročito kod miješalica), nego kod trioda, jer u nepravilnom i slučajnom mijenjanju struje elektrona (vidi odsjek 68) sudjeluje uz anodnu struju i struja zaslonske rešetke (»šum uslijed raspodjele struje«). Pentoda EF 13 ima zbog toga promjenljiv uspon zaslonske rešetke, vrlo tanku žicu, od koje je ova rešetka izvedena, te velik razmak između zaslonske i uzbudne rešetke. Zbog toga jakost struje zaslonske rešetke iznosi tek oko 0,6 mA, kad je jakost anodne struje 4,5 mA. Odnos struja je prema tome oko 1 : 7,5 prema 1 : 2,5 pentode AF 3.


Sl. 218.

Međufrekventno pojačalo

301. — Međufrekventni titraji, koji nastaju u miješalici, privode se zbog pojačavanja preko međufrekventnog pojasnog filtra *međufrekventnom pojačalu*, a onda, zbog demodulacije demodulatoru (vidi odsjek 265). Međufrekventno pojačalo građeno je jednako kao ugođeno visokofrekventno pojačalo, pa u biti jednako i radi (vidi na primjer sl. 165, 170 i 173). Kako se ovdje međutim radi samo o jednoj tačno određenoj frekvenciji, naime međufrekvenciji, i međufrekventno je pojačalo na ovu frekvenciju stalno ugođeno, pa u njemu nema promjenljivih titrajnih krugova (vidi odsjek 265). Za vezu između stupnjeva međufrekventnog pojačala služe *međufrekventni pojasni filtri* (vidi na primjer sl. 206, 208 i 210). O prednostima koje iz toga slijede (jednostavnija gradnja, veća selektivnost uz bolju kvalitetu reprodukcije), govorili smo već u odsjecima 215. i 266. U prvim godinama radio-tehnike, kad su još postojale samo triode, imala su međufrekventna pojačala najčešće tri stupnja pojačanja, a posljedica toga bila je da je često dolazilo do poteškoća uslijed samouzbuđenja (vidi odsjeke 202 i 207). Nakon pojave elektronki s većim brojem elektroda bila je gradnja dobrih međufrekventnih pojačala znatno olakšana. Danas se međufrekventno pojačalo sastoji u najvećem broju slučajeva od samo jednog stupnja s reguliranom pentodom ili heksodom. Dva stupnja međufrekventnog pojačanja možemo naći jedino u velikim superima, s kojima se želi osigurati naročito dobar prijem kratkih valova. Za demodulator se upotrebljava, isto kao i u direktnim prijemnicima, najčešće duodioda (na primjer AB 2), koja istodobno služi i za proizvođenje regulacionog napona. Naročito jednostavni i dobri spojevi dobivaju se tako da se za međufrekventno pojačavanje upotrijebi *regulirana duodioda-pentoda* (kombinirana čelična elektronka EBF 11). Ovakva elektronka radi tada kao međufrekventno pojačalo i demodulator. S ovim podacima o međufrekventnom pojačalu supera za sada ćemo se zadovoljiti. U poglavljima koja slijede, detaljnije ćemo upoznati spojeve i ostale pojedinosti.

Ponavljanje

Svojstva elektronke, koja se upotrebljava za pojačavanje, u pogledu šuma mogu se karakterizirati *otporom šuma elektronke*. Pod otporom šuma elektronke razumijeva se omski otpor, koji je u krugu rešetke spojen u seriju s omskim otporom paralelne rezonancije, a daje na istoj širini pojasa napon šuma jednak naponu šuma same elektronke. *Ukupni otpor šuma* jednog stupnja pojačala jednak je sumi otpora šuma elektronke i otpora kruga. U pojačalu sa dva stupnja ukupni otpor šuma jednak je sumi ukupnog otpora šuma prvog stupnja i ukupnog otpora šuma drugog stupnja podijeljenog s kvadratom naponskog pojačanja u drugom stupnju. *Ukupni napon šuma* na ulaznoj rešetki proporcionalan je korijenu ukupnog otpora šuma i širini pojasa. Nova regulirana pentoda EF 13 odlikuje se naročito malim otporom šuma, pa je prema tome vrlo pogodna kao elektronka za visokofrekventno pretpojačavanje, te za pojačalo kod prijema kratkih valova. Otpor šuma elektronki s više elektroda to je manji, što je manja jakost struje zaslonske rešetke prema jakosti anodne struje.

Međufrekventno pojačalo supera radi u principu isto kao ugođeno visokofrekventno pojačalo. Kako se međutim kod njega radi samo o jednoj određenoj frekvenciji (međufrekvenciji), upotrebljava se kao elemenat za vezu *međufrekventni pojasni filtar* ugođen stalno na međufrekvenciju. Ako se upotrebljavaju moderne regulirane pentode ili heksode, dovoljan je u većini slučajeva jedan stupanj međufrekventnog pojačala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koliki je ukupni otpor šuma jednog stupnja pojačala? *Odgovor:* Jednak je sumi otpora titrajnog kruga i otpora šuma elektronke. — *P.*: Što razumijevamo pod otporom kruga? *O.*: Omski otpor kod paralelne rezonancije titrajnog kruga, kojim je određen toplinski šum. — *P.*: Kako prikazujemo otpor šuma elektronke? *O.*: Kao omski otpor u ulaznom krugu spojen u seriju s otporom kruga, a koji je toliki, da pri jednakoj širini pojasa daje napon šuma isto toliki, koliki i elektronka. — *P.*: Što nam pokazuje ukupni napon šuma? *O.*: Veličinu izmjeničnog napona na rešetki prve elektronke uzrokovanog otporom šuma. — *P.*: O čemu je ovisan napon šuma? *O.*: O drugom korijenu ukupnog otpora šuma i širini pojasa. — *P.*: Koja elektronka ima naročito malen otpor šuma? *O.*: Regulirana pentoda EF 13. — *P.*: Što je uvjet kod pentode za mali otpor šuma? *O.*: Uvjet je da jakost struje zaslonske rešetke bude što manja u odnosu prema jakosti anodne struje. — *P.*: Kako radi međufrekventno pojačalo? *O.*: U biti jednako kao i obično ugođeno visokofrekventno pojačalo. — *P.*: Koje prednosti ima međutim međufrekventno pojačalo? *O.*: Za međufrekventno pojačalo dovoljno je da bude ugođeno na jednu stalnu frekvenciju, na međufrekvenciju. —

P.: Koliko stupnjeva pojačanja imaju moderna međufrekventna pojačala razglasnih prijemnika? *O.*: Jedan stupanj, a rjeđe dva. — *P.*: Čime se može postići naročito jednostavna izvedba, međufrekventnog pojačala i demodulatora, koji iza njega slijedi? *O.*: Upotrebom regulirane duodiode-pentode.

Pitanja

144. Koja smo sve sredstva upoznali, kojima se poboljšava predselekcija supera?

145. Da li ukupan otpor šuma drugog stupnja pojačala u pojačavanju sa dva stupnja dolazi u krugu rešetke prvog stupnja do izražaja?

146. Koliki mora da bude ulazni izmjenični napon u odnosu prema naponu šuma?

Zadaci

102. Zavojnicom s induktivitetom od 3 mH mora se sagraditi filtar za međufrekvenciju za prijemnik s međufrekvencijom od 468 kHz. Koliki mora da bude serijski kapacitet?

103. Filtar za zrcalne frekvencije u sl. 214. mora da bude ugođen na graničnu frekvenciju od 800 kHz: Koliki mora da bude induktivitet zavojnica L_3, L_4 i L_5, ako je $C_3 = C_4 = 150$ pF?

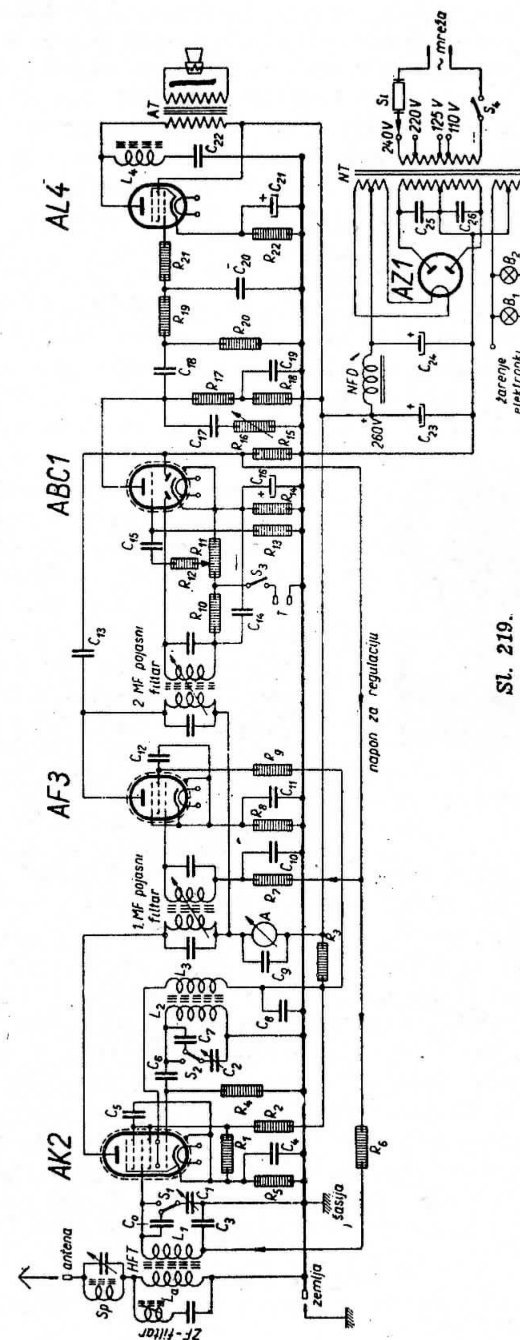
104. Koliki napon šuma uzrokuje otpor kruga od 100 kΩ, ako je širina pojasa 9 kHz?

105. U pretpojačalu supera upotrijebljena je regulirana pentoda s otporom šuma od 2,5 kΩ, a u stupnju za miješanje heksoda s otporom šuma od 80 kΩ. Otpor pripadajućih paralelnih titrajnih krugova je u prijemu kratkih valova 5 kΩ, odnosno 10 kΩ, a naponsko pojačanje elektronke u pretpojačalu je 10: a) Koliki je ukupni otpor šuma? b) Koliki napon šuma imamo na širini pojasa od 10 kHz?

Super sa šest krugova i pet elektronki

302. — Nakon što smo podrobno govorili o principu rada supera i njegovim pojedinim stupnjevima, upoznat ćemo se sada s **p o t p u n o m k o n s t r u k c i j o m** dvaju prijemnika građenih na tom principu. Moramo se pri tome naravno ograničiti na posebno važne načine izvedbe, jer osim njih ima i mnoštvo drugih mogućnosti i to od najjednostavnijeg supera sa tri elektronke i četiri titrajna kruga, pa do velikog supera sa dvanaest elektronki i deset titrajnih krugova. Da bi se izbjegli nesporazumi napominjemo još jednom da su u broju elektronki sadržane uvijek **p o j e d i n e** elektronke, dakle i pomoćne elektronke (diode, ispravljačice itd.). Podatak o broju titrajnih krugova odnosi se na ugođene (promjenljive) ulazne titrajne krugove i titrajne krugove oscilatora, te na stalno ugođene titrajne krugove međufrekventnog pojačala. U ovome, što sada slijedi, produbit ćemo ono što smo ranije upoznali, i proširili naše znanje »čitanja« shema.

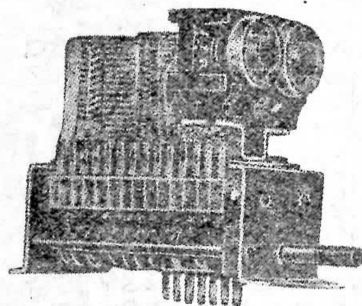
Potpuna shema supera sa pet elektronki i šest titrajnih krugova, sa zapornim krugom, filtrom za međufrekvenciju, instrumentom za ugađanje (indikator), nečujnim ugađanjem, promjenljivom širinom pojasa, odgođenom fejding-regulacijom, regulatorom boje zvuka i zaporom za 9 kHz



Sl. 219.

$C_0 \approx 120$ pF, $C_1 = C_2 = 550$ pF, $C_3 = C_4 = C_5 = 0{,}1$ μF, $C_6 = 100$ pF, $C_7 \approx 120$ pF, $C_8 = 0{,}5$ μF, $C_9 = C_{10} = C_{11} = C_{12} = 0{,}1$ μF, $C_{13} = 25$ pF, $C_{14} = 100$ pF, $C_{15} = 20\,000$ pF, $C_{16} = 25$ μF, $C_{17} = 5\,000$ pF, $C_{18} = 20\,000$ pF, $C_{19} = 2$ μF, $C_{20} = 100$ pF, $C_{21} = 100$ μF, $C_{22} = 3\,000$ pF, $C_{23} = C_{24} = 16$ μF, $C_{25} = C_{26} = 10\,000$ pF; $R_1 = 10$ kΩ, $R_2 = 2$ kΩ, $R_3 = 8$ kΩ, $R_4 = 50$ kΩ, $R_5 = 250$ Ω, $R_6 = 1{,}5$ MΩ, $R_7 = 1$ MΩ, $R_8 = 300$ Ω, $R_9 = 1$ kΩ, $R_{10} = 300$ kΩ, $R_{11} = 500$ kΩ, $R_{12} = 100$ kΩ, $R_{13} = 1$ MΩ, $R_{14} = 3{,}2$ kΩ, $R_{15} = 1$ MΩ, $R_{16} = 50$ kΩ, $R_{17} = 200$ kΩ, $R_{18} = 50$ kΩ, $R_{19} = 100$ kΩ, $R_{20} = 1$ MΩ, $R_{21} = 1$ kΩ, $R_{22} = 150$ Ω.

303. — Upoznat ćemo se najprije s jednim vrlo omiljelim prijemnikom naime *superom sa pet elektronki i šest titrajnih* krugova (sl. 219). Iz same sheme vidimo odmah da se taj super sastoji: od *regulirane oktode* (miješalice), *reguliranog stupnja međufrekventnog pojačala, duodiode* kao demodulatora, *niskofrekventnog pojačala i izlaznog stupnja.* Budući da je prijemnik predviđen za priključak na mrežu izmjenične struje, ima u mrežnom dijelu *ispravljačicu za dvotaktno ispravljanje. Spoj za miješanje* izveden je posve jednako kao onaj na sl. 208. U njemu je miješalica oktoda AK 2. U antenskom krugu nalazi se *zaporni krug Sp,* koji se može ugoditi na frekvenciju lokalnog odašiljača. No taj krug nije uvijek potreban. Kako bi se postigla dovoljno velika predselekcija, upotrebljen je i *filtar za međufrekvenciju* (paralelno antenskoj zavojnici R_a). (Vidi odsjek 296.) Ako je potrebno može se za područje dugih valova dodati i *filtar za zrcalne frekvencije* (vidi odsjek 297). U shemi nije nacrtan preklopac za mijenjanje valnih područja, zatim paralelni trimeri i kondenzatori za skraćivanje (u oscilatoru), da se ne smanji preglednost sheme. Ovi spojni elementi nalaze se u većini slučajeva u oklopnim loncima tvorničkih slogova visokofrekventnih transformatora i zavojnica oscilatora. O tome smo uostalom opširno govorili u odsjecima 293. do 295. (usporedi također sl. 193, 213 i 214). Na sl. 220. vidimo primjer izvedbe *visokofrekventnog transformatora HFT* za sva tri valna područja. Na donjem dijelu primjećujemo višepolni preklopnik, a na gornjem dijelu desno zavojnice za područje srednjih i dugih valova s visokofrekventnom željeznom jezgrom (područja od 200 do 600 m i od 800 do 2 000 m); lijevo od toga vide se zavojnice za kratke valove namotane na nosače s malenim gubicima (područje 13 do 20 m, 19 do 26 m, i 25 do 68 m). Na sličan način građen je i slog L_2 i L_3 zavojnica za oscilator. Kod prijema kratkih valova ukapča se sklopkom S_1 i S_2 po jedan kondenzator za skraćivanje[65]) C_6, odnosno C_7, u seriju s promjenljivim kondenzatorom C_1, odnosno C_2. Na taj način smanjuje se maksimalni kapacitet promjenljivog kondenzatora sa 550 pF na oko 100 pF, pa se tako i u području kratkih valova postizava lagano ugađanje. Kod prijema srednjih i dugih valova sklopke S_1 i S_2 postavljaju se u drugi položaj. Dovođenje *regulacionog napona* (vidi odsjek 305) vrši se fitrom $R_6 = 1{,}5\,M\Omega - C_3 = 0{,}1\,\mu F$. Svi ostali podaci mogu se vidjeti iz odsjeka 286. i 287, te iz popisa pod shemom.



Sl. 220.

[65]) Kondenzatori za skraćivanje ugrađeni su u većini slučajeva također u oklopni lonac.

304. — Međufrekventno pojačalo ima samo jedan stupanj s reguliranom pentodom AF 3 i dva *pojasna filtra s promjenljivom širinom pojasa* ugođena na frekvenciju 468 kHz. Uslijed promjenljive širine pojasa dade se prema uvjetima prijema postići najpovoljniji odnos između selektivnosti i kvalitete tona (vidi odsjek 215). Nakon zaslonske rešetke elektronke AF 3 dobiva se isto kao i kod elektronke AK 2 preko djelitelja napona $R_1 + R_2 + R_3$. Filtar s otporom $R_9 = 1\,k\Omega - C_{12} = 0{,}1\,\mu F$ otklanja nepoželjnu vezu između zaslonskih rešetki pentode AF 3 i oktode AK 2, a pri tome ne utječe naročito na veličinu napona zaslonske rešetke elektronke AF 3. Međufrekventno pojačalo dobiva *regulacioni napon* j e d n a k naponu što ga dobiva miješalica preko $R_7 = 1\,M\Omega - C_{10} = 0{,}1\,\mu F$ Anodna struja elektronki AK 2 i AF 3, kojoj je jakost ovisna o regulaciji, prolazi kroz *ampermetar za ugađanje A,* koji je kondenzatorom $C_9 = 0{,}1\,\mu$ za međufrekventne titraje kratko spojen. Na taj je način omogućena *optička indikacija ugađanja i nečujno ugađanje* (vidi odsjek 234).

305. — *Demodulator* i *niskofrekventno pojačalo* rade s duodiodom-triodom ABC 1. Odgovarajući spoj upoznali smo već na sl. 131. i 193. Dio međufrekventnog napona uzima se na ulaznom krugu drugog međufrekventnog pojasnog filtra[66]) i dovodi preko kondenzatora $C_{13} = 25\,pF$ na desni dio duodiode kombinirane elektronke ABC 1. Regulacioni napon za elektronke AF 3 i AK 2 uzima se (vidi sl. 172) s kraja paralelnog opteretnog otpora $R_{15} = 1\,M\Omega$ spojenog na anodu diode. Ovaj napon regulacije je *odgođen,* jer paralelni otpor R_{15} nije spojen s katodom elektronke ABC 1, nego direktno na zajednički m i n u s - v o d (vidi odsjeke 228, 229 i 260). Regulacija počinje tek onda, kad je ulazni izmjenični napon dovoljno velik za uzbuđivanje izlaznog stupnja. Tjemena vrijednost međufrekventnog izmjeničnog napona na diodi mora dakle biti bar tolika, koliki je odgođeni napon, a to je oko —2,5 V, jer je toliki prednapon uzbudne rešetke, koji se dobiva automatski na otporu u katodi $R_{14} = 3{,}2\,k\Omega$. Drugi dio međufrekventnog napona dobivamo iz izlaznog kruga drugog međufrekventnog pojasnog filtra i vodimo direktno na lijevu diodu duodiode-triode ABC 1. Ova je opterećena serijskim spojem otpora $R_{10} + R_{11} = 300\,k\Omega + 500\,k\Omega$. Kako je serijski opteretni otpor spojen direktno na k a t o d u diode, teći će demodulacija *bez odgađanja.* Dio $R_{11} = 500\,k\Omega$ serijskog opteretnog otpora izveden je kao *niskofrekventni regulator jakosti zvuka* (otpornik s logaritmičkom karakteristikom), a može se uz njega predvidjeti i regulacija jakosti zvuka p r i l a g o đ e n a o s j e t l j i v o s t i u h a (vidi odsjek 261). Svrha uvrštavanja otpornika $R_{10} = 300\,k\Omega$ je da se ukupni opteretni otpor što manje smanji serijskim spojem otpora $R_{10} + R_{11}$ uslijed paralelnog spajanja otpora $R_{12} + R_{13}$ paralelno otporu R_{11}. Tako se demodulacija može

[66]) Tu imamo najveći izmjenični napon s kojim možemo dobiti dovoljno velik napon regulacije.

vršiti bez izobličenja i pri većem postotku modulacije (vidi odsjek 168). Krajevi otpora R_{11} izvedeni su na priključnice *T*, koje služe za priključivanje *zvučnice*, što se vrši sklopkom S_3.

*306. — Niskofrekventni napon dovodi se na uzbudnu rešetku triodnog dijela kombinirane elektronke ABC 1 i preko otpora $R_{12} = 100\,k\Omega$, koji služi kao zapor za visoke frekvencije, i kondenzatora $C_{15} = 20\,nF$ u krugu rešetke. Negativni prednapon dobiva uzbudna rešetka preko odvodnog otpora $R_{13} = 1\,M\Omega$, a veličina tog napona je oko —2,5 V. Niskofrekventno pojačalo spojeno je, kako se na sl. 193. vidi, kao otporno pojačalo. I *izlazni stupanj* s izlaznom pentodom AL 4 spojen je onako kao i kod opisanog direktnog prijemnika. Element za vezu $R_{16} = 50\,k\Omega$ — $C_{17} = 5\,000\,pF$ je *promjenljiv regulator boje tona*, a $R_{21} = 1\,k\Omega$ — $C_{20} = 100\,pF$ služi za *sprečavanje oscilacija* na području *ultrakratkih valova*. Zavojnica $L_4 = 0{,}1\,mH$ — kondenzator $C_{22} = 3\,000\,pF$ služe kao *zapor za 9 kHz* (vidi odsjek 261). Ispravljač za dvotaktno ispravljanje s ispravljačicom AZ 1 spojen je isto onako kao i onaj već opisani, pa je njegovo daljnje opisivanje suvišno. Napominjemo još jedino da se ovdje opisani super sa pet elektronki i šest titrajnih krugova razlikuje od prije opisanog direktnog prijemnika sa dva kruga i pet elektronki znatno većom selektivnošću uz zadovoljavajuću kvalitetu reprodukcije, dok je osjetljivost obaju prijemnika približno jednaka.

Ponavljanje

Upoznali smo potpunu shemu *supera sa pet elektronki i šest titrajnih krugova*, koji se sastoji od oktode kao miješalice, jednog stupnja međufrekventnog pojačala, koji je kao i stupanj za miješanje reguliran, i ima promjenljivi međufrekventni pojasni filtar, demodulatora spojenog s jednim stupnjem niskofrekventnog pojačala, izlaznog stupnja i ispravljača s dvotaktnim ispravljanjem. Naročite odlike ovog supera su: mogućnost prijema kratkih, srednjih i dugih valova, zaporni krug i međufrekventni filtar u antenskom krugu, dvostepeno odgođeno reguliranje fejdinga, promjenljiv regulator boje tona, filtar za potiskivanje oscilacija iz područja ultrakratkih valova i zapor za 9 kHz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zbog čega je opisani prijemnik super sa šest krugova? *Odgovor:* Zbog toga što ima dva titrajna kruga koji se mogu ugađati (ulazni titrajni krug i titrajni krug oscilatora) i četiri nepromjenljiva titrajna kruga (dva pojasna međufrekventna filtra). — *P.:* Kakva je prednost upotrebe promjenljivog međufrekventnog pojasnog filtra? *O.:* Širina pojasa može se odabrati tako kako to najbolje odgovara, na primjer s velikom širinom za prijem jakih stanica, a s manjom kad želimo povećati selektivnost. — *P.:* Kakva je svrha filtara s otporima u dovodima regulacionog napona? *O.:* Njihova je svrha da oslobode regulacioni napon niskofrekventnih promjena napona, a istodobno da stvore odgovarajuću vremensku konstantu za proces regulacije. — *P.:* Na koji se način može u opisanom superu postići nečujno ugađanje? *O.:* Za vrijeme ugađanja niskofrekventni se regulator jakosti zvuka zatvori, a ispravno postavljanje na frekvenciju odašiljača, koji želimo primati, vrši se promatranjem otklona kazaljke indikatora.

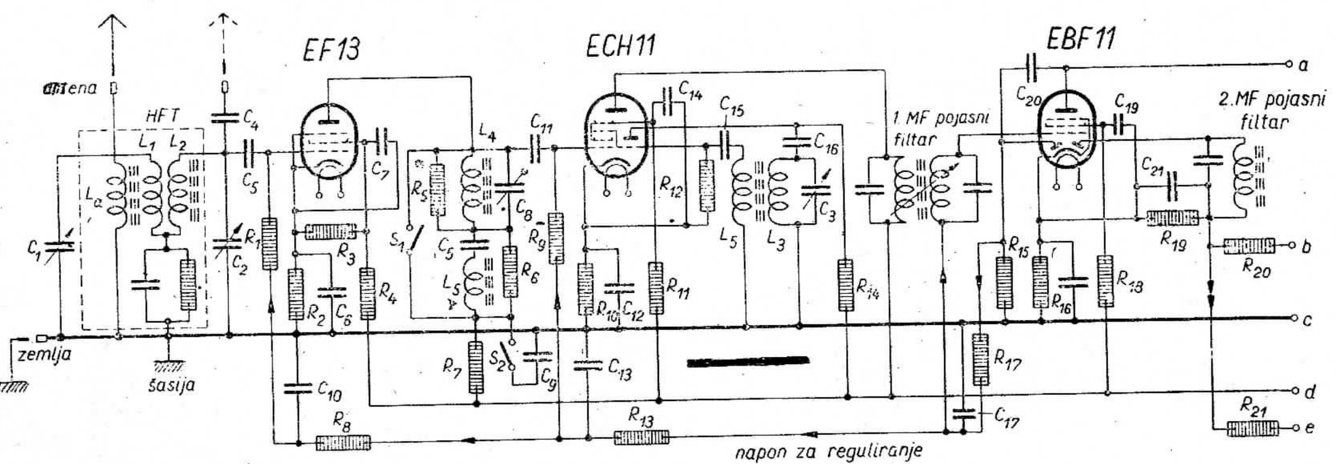
Super sa šest elektronki i sedam krugova

307. — Opisat ćemo sada *super sa šest elektronki i sedam titrajnih krugova*. Ovdje se radi o *velikom superu* s modernim, čeličnim elektronkama, u kojemu je iskorišten gotovo sav napredak u razvoju spojeva. Glavna prednost primjene čeličnih elektronki sastoji se u činjenici spomenutoj već u odsjeku 254, naime u postizavanju najboljih uvjeta rada s obzirom na regulaciju i mogućnost uzbuđivanja, te u vrlo dobrom prijemu kratkih valova, što rezultira iz »harmoničnosti« upotrijebljene serije elektronki. Veliki super, koji opisujemo, ima sedam titrajnih krugova, od kojih su tri promjenljiva (ulazni pojasni filtri i titrajni krug oscilatora) i četiri nepromjenljiva titrajna kruga međufrekventnog pojasnog filtra (sl. 221). Čitav aparat sastoji se od *reguliranog stupnja pretpojačala, reguliranog stupnja miješanja s triodom-heksodom, reguliranog stupnja međufrekventnog pojačala, demodulatora, reguliranog stupnja niskofrekventnog pojačala s optičkim indikatorom ugađanja, izlaznog stupnja i ispravljača.* Taj veliki super ima dakle četverostruku regulaciju fejdinga, koja daje gotovo savršenu krivulju regulacije (vidi odsjek 230).

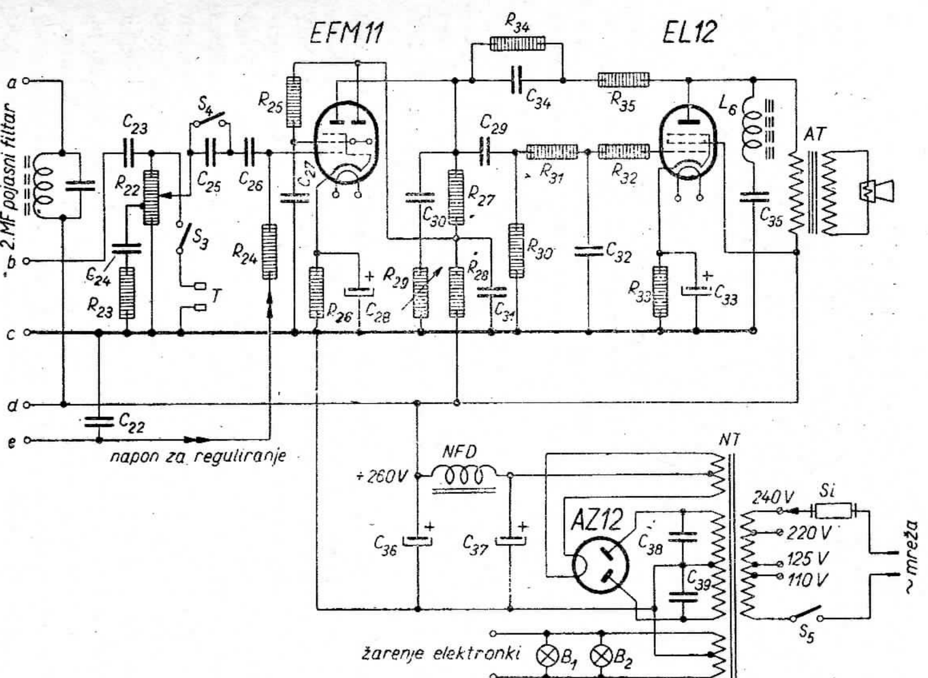
308. — *Predstupanj:* O značenju pretpojačanja govorili smo već u odsjeku 298. (vidi sl. 215). U ovom slučaju imamo međutim u ulaznom krugu kapacitivno vezani *pojasni filtar HFT* (vidi sl. 157). Ulazni krugovi za ugađanje označeni su sa L_1 — C_1, L_2 — C_2, a zavojnica za vezu s antenom označena je sa L_a[67]). U *prijemu kratkih valova* priključuje se antena preko kondenzatora $C_4 = 15\,pF$, koji ima malene gubitke, samo na titrajni krug L_2—C_2 (označeno crtkano!). Uslijed toga se povećava osjetljivost. Primljeni signali prenose se preko kondenzatora $C_5 = 50\,pF$ na uzbudnu rešetku *pentode* EF 13 s malim šumom (vidi odsjek 300), a napon regulacije dovodi se preko filtra $R_8 = 0{,}5\,M\Omega$ — $C_{10} = 10\,000\,pF$ i odvodnog otpora rešetke $R_1 = 1\,M\Omega$. Na otporu u katodi $R_2 = 400\,\Omega$ nastaje osnovni prednapon od nekih —2 V, a na djelitelju napona $R_3 + R_4 = 200\,k\Omega + 150\,k\Omega$ nastaje za vrijeme regulacije klizni napon zaslonske rešetke (do + 150 V). Na taj način imamo kod napona regulacije od kojih 22 V promjenu stupnja pojačanja približno oko 1 : 150 (vidi odsjeke 249 i 254). Veza između pretpojačala i miješalice je aperiodska s visokofrekventnom prigušnicom $L_4 \approx 5\,mH$. Titrajni krug L_4 — C_8 ugađa se trimerom $C_8 = 50\,pF$ (maksimalna vrijednost) na frekvenciju od nekih 430 kHz, a pri tome se otporom za prigušenje $R_5 = 20\,k\Omega$ postizava široka krivulja rezonancije kruga L_4 — C_8. U seriju s ovim krugom spojen je ugođeni usisni titrajni krug L_s — C_s (468 kHz) premošten otporom $R_6 = 10\,k\Omega$, bez kojeg bi anodna struja bila blokirana kondenzatorom C_s. U prijemu srednjih valova sklopka S_1 je otvorena, a sklopka S_2

[67]) Valni preklopnik, paralelni trimeri i kondenzatori za skraćivanje ispušteni su i ovdje, da ne bi ometali preglednost sheme (vidi odsjek 303).

Potpuna shema supera sa sedam titrajnih krugova i šest elektronki, četvorostepenom regulacijom fejdinga, promjenljivom širinom pojasa, magičnim okom, nečujnim ugađanjem, regulacijom jakosti i boje zvuka, negativnom reakcijom s izdizanjem dubokih tonova, preklopcem govor - glazba i zaporom za 9 kHz



Sl. 221.-a)



Sl. 221.-b)

$C_1 = C_2 = C_3 = 500$ pF, $C_4 = 15$ pF, $C_5 = 50$ pF, $C_6 = C_7 = 0{,}1$ μF, $C_8 = 50$ pF, $C_9 = 0{,}1$ μF, $C_{10} = 10\,000$ pF, $C_{11} = 25$ pF, $C_{12} = 0{,}1$ μF, $C_{13} = 20\,000$ pF, $C_{14} = 0{,}1$ μF, $C_{15} = 100$ pF, $C_{16} = 500$ pF, $C_{17} = 20\,000$ pF, $C_{18} = C_{19} = 0{,}1$ μF, $C_{20} = C_{21} = 100$ pF, $C_{22} = C_{23} = 20\,000$ pF, $C_{24} = 30\,00$ pF, $C_{25} = 200$ pF, $C_{26} = 20\,000$ pF, $C_{27} = 0{,}5$ μF, $C_{28} = 25$ μF, $C_{29} = 20\,000$ pF, $C_{30} = 5\,000$ pF, $C_{31} = 2$ μF, $C_{32} = 100$ pF, $C_{33} = 100$ μF, $C_{34} = 200$ pF, $C_{35} = 3\,000$ pF, $C_{36} = C_{37} = 16$ μF, $C_{38} = C_{39} = 10\,000$ pF, $R_1 = 1$ MΩ, $R_2 = 400$ Ω, $R_3 = 200$ kΩ, $R_4 = 150$ kΩ, $R_5 = 20$ kΩ, $R_6 = 10$ kΩ, $R_7 = 15$ kΩ, $R_8 = 0{,}5$ MΩ, $R_9 = 1$ MΩ, $R_{10} = 250$ Ω, $R_{11} = 100$ kΩ, $R_{12} = 50$ kΩ, $R_{13} = 0{,}5$ MΩ, $R_{14} = 30$ kΩ, $R_{15} = 1$ MΩ, $R_{16} = 300$ Ω, $R_{17} = 0{,}5$ MΩ, $R_{18} = 100$ kΩ, $R_{19} = 0{,}5$ MΩ, $R_{20} = 100$ kΩ, $R_{21} = 0{,}5$ MΩ, $R_{22} = 1$ MΩ, $R_{23} = 5$ kΩ, $R_{24} = 1$ MΩ, $R_{25} = 350$ kΩ, $R_{26} = 900$ Ω, $R_{27} = 100$ kΩ, $R_{28} = 20$ kΩ, $R_{29} = 50$ kΩ, $R_{30} = 1$ MΩ, $R_{31} = 100$ kΩ, $R_{32} = 1$ kΩ, $R_{33} = 90$ Ω, $R_{34} = 5$ MΩ, $R_{35} = 3$ MΩ.

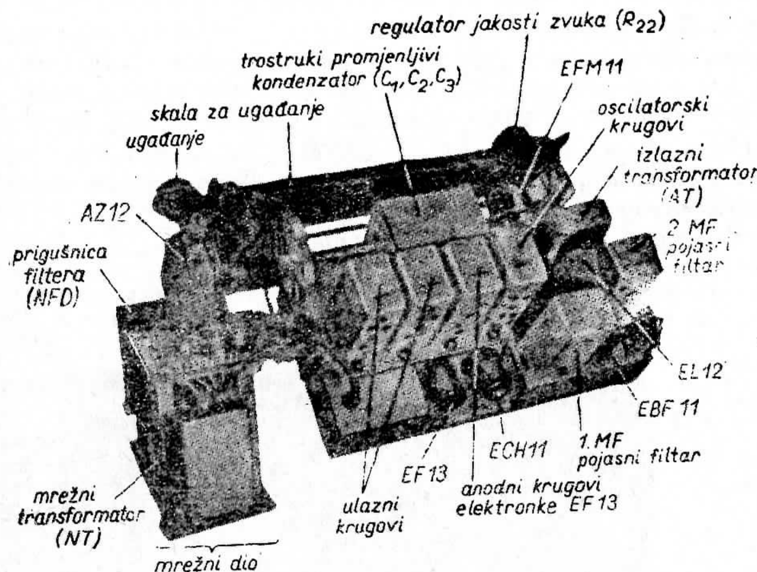
zatvorena. Element R_7 = 15 kΩ i C_9 = 0,1 μF služi kao zapor protiv reakcije. U prijemu kratkih i dugih valova krugovi $L_4 — C_8$ i $L_5 — C_5$ kratko se spajaju sklopkom S_1, a sklopka S_2 sada je otvorena. Kao anodni otpor imamo sada samo otpor R_7.

309. — *Miješanje:* Pojačani signali dolaze preko kondenzatora C_{11} = = 25 pF na prvu uzbudnu rešetku *triode-heksode ECH 11.* Spoj i način rada ove miješalice poznati su već iz odsjeka 289. i 292. Ovaj stupanj radi s kliznim naponom zaslonske rešetke, koji se dovodi samo preko predotpora R_{11} = 100 kΩ. Prva uzbudna rešetka dobiva isti napon regulacije kao i prva elektronka, i to preko elemenata R_{13} = 0,5 MΩ — C_{13} = = 20 000 pF i odvodnog otpora rešetke R_9 = 1 MΩ. Međufrekventne oscilacije, koje nastaju u miješalici, dovode se na prvi promjenljivi međufrekventni pojasni filtar.

310. — *Međufrekventno pojačalo i demodulator:* Za ovaj stupanj upotrijebljena je kombinirana čelična *duodioda-pentoda* EBF 11. Pentodni dio služi za međufrekventno pojačavanje, a duodiodni za demodulaciju i dobivanje napona regulacije. Uzbudna rešetka dobiva jednake međufrekventne napone i napon regulacije, kao i stupnjevi pred njom (preko filtra R_{17} = 0,5 MΩ — C_{17} = 20 000 pF). Pojačani međufrekventni naponi dovode se zatim preko nepromjenljivog drugog međufrekventnog pojasnog filtra direktno desnoj, a preko kondenzatora C_{20} = 100 pF lijevoj anodi duodiodnog dijela. Lijevi diodni dio opterećen je paralelnim otporom R_{15} = 1 MΩ i na njemu se stvara napon regulacije za elektronke EF 13, ECH 11 i EBF 11. Ovaj napon regulacije je *odgođen,* jer je opteretni otpor R_{15} spojen na zajednički minus-vod. Odgodni napon jednak je osnovnom prednaponu od nekih —2 V, koji nastaje na otporu u katodi R_{16} = 300 Ω. Demodulacija međufrekventnih signala vrši se desnom diodom sa serijskim opteretnim otporom R_{19} = = 0,5 MΩ. Kombinirana elektronka EBF 11 ima klizni napon zaslonske rešetke (do 250 V), a dobiva ga preko predotpora R_{18} = 100 kΩ. Pri naponu regulacije od —40 V promjene stupnja pojačanja su oko 1 : 100.

311. — *Niskofrekventno pojačalo i optički indikator:* Niskofrekventni napon uzima se sa serijskog opteretnog otpora R_{19} i vodi preko otpora R_{20} = 100 kΩ (zapor za visoke frekvencije) i kondenzatora C_{23}=20 000 pF u krugu rešetke na niskofrekventni regulator jakosti zvuka, koji je prilagođen *osjetljivosti uha* R_{22} = 1 MΩ — C_{24} = 30 000 pF — R_{23} = 5 kΩ (vidi odsjek 261). Paralelno tome spojene su priključnice za električnu zvučnicu *T* i sklopka S_3. Niskofrekventno pojačavanje vrši se pomoću *pentode s magičnim okom EFM 11,* koja nam je poznata iz odsjeka 241. Spoj ove elektronke podudara se potpuno s onim na sl. 181. Elektronka EFM 11 radi *regulacijom unaprijed* (vidi odsjek 230) i to bez odgađanja, kako bi se i kod prijema slabih stanica postigao dobar rad indikatora. Uslijed trostruke regulacije unatrag i jednostruke regulacije unaprijed regulacija je gotovo savršena, pa su preostale varijacije u promjeni

jakosti zvuka vrlo malene. Napon regulacije uzima se s otpora R_{19} (dvostruka strelica!), pa se u filtru R_{21} = 0,5 MΩ — C_{22} = 20 000 pF oslobađa od niskofrekventnih promjena i preko odvodnog otpora u rešetki R_{24} = 1 MΩ dovodi na uzbudnu rešetku. Na predotporu R_{25} = 350 kΩ nastaje klizni napon zaslonske rešetke, a na otporu u katodi R_{26} = = 900 Ω osnovni prednapon od nekih —1,5 V. Kondenzator u rešetki sastoji se ovaj put od serijskog spoja kondenzatora C_{25} = 200 pF i



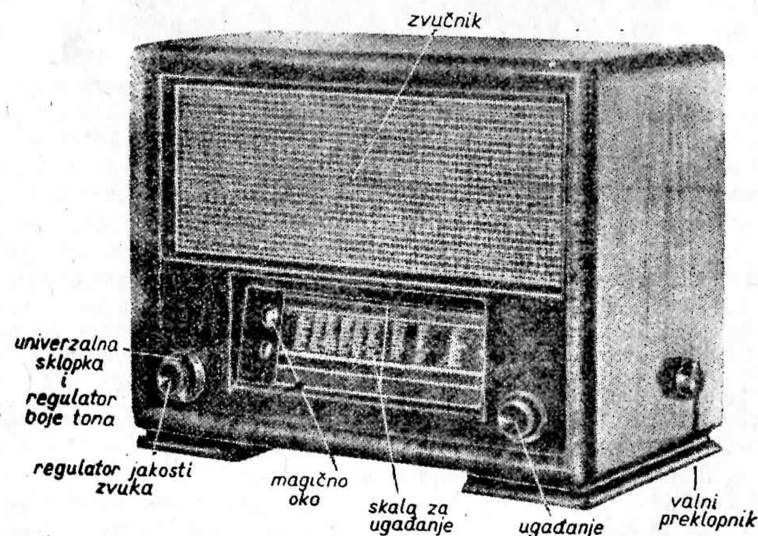
Sl. 222. — Pojedini dijelovi supera sa slike 221.-a)-b) s gornje strane metalne šasije

Pojedini titrajni krugovi s pripadajućim nepromjenljivim i polupromjenljivim kondenzatorima, i promjenljivi kondenzatori, ugrađeni su u metalne oklopne kutije. Naročito malo mjesta zauzimaju, kako se vidi, čelične elektronke EF 13, ECH 11, EBF 11 i EFM 11 za razliku od mnogo većih staklenih EL 12 i AZ 12. Lijevo se vidi ispravljački dio izgrađen kao posebna cjelina.

C_{26} = 20 000 pF. Sklopka S_4 služi kao *preklopac za glazbu, odnosno govor.* Ako je sklopka S_4 zatvorena, kapacitet kondenzatora u rešetki je 20 000 pF, pa on propušta čitav pojas tonskih frekvencija (reprodukcija glazbe!). Ako se sklopka S_4 otvori, onda je kapacitet kondenzatora u krugu rešetke manji od 200 pF (serijski spoj), uslijed čega su niže frekvencije zapostavljene (vidi odsjek 78), pa je reprodukcija svjetlija, što je za razumljivost govora bolje.

312. — *Izlazni stupanj i ispravljački dio:* Spoj tih dvaju stupnjeva jednak je spoju supera na sl. 219. Zbog toga nije potrebno da ulazimo

ovdje ponovno u detalje (pripazi na *regulator boje tona* R_{29}—C_{30}, *filtar za sprečavanje oscilacija iz područja ultrakratkih valova* R_{32}—C_{32} *i zapor za 9 kHz* L_6—C_{35}!). U izlaznom stupnju upotrebljena je jaka *izlazna pentoda EL 12* s opteretivošću anode od $N_a = 18$ W, izmjeničnom snagom $\mathfrak{N}_a = 8$ W uz faktor izobličenja $k = 10\%$ i maksimalnom strminom $S = 15$ mA/V. Uslijed toga može se u izlaznom stupnju dobro primijeniti negativna reakcija s *izdizanjem dubokih tonova,* kako bi se snizio faktor izobličenja i poboljšala reprodukcija d u b o k i h tonova (vidi odsjeke 140 i 143). Naponska reakcija smije se primijeniti samo na a n o d u kombinirane elektronke EFM 11, jer bi se inače stupanj negativne reakcije mijenjao sa stupnjem pojačanja. Spoj za negativnu reakciju sastoji se od kondenzatora $C_{34} = 200$ pF, koji premoštava otpor $R_{34} = 5$ MΩ i otpora $R_{35} = 3$ MΩ (dijeljenje napona između ovih elemenata i aktivnog otpora na anodi elektronke EFM 11. Na višim frekvencijama iz tonskog područja dolazi do naročito jake negativne reakcije, dakle i do smanjenja naponskog pojačanja, pa su niže frekvencije na taj način u odgovarajućoj mjeri istaknute (izdizanje basova!).



Sl. 223. — Vanjski izgled supera sa sl. 221.

Nad velikom skalom s ispisanim stanicama nalazi se elektro-dinamički zvučnik s permanentnim magnetom. Regulator jakosti zvuka ima sklopku na pritisak. Pritiskom se može niskofrekventni dio prijemnika kratko spojiti, čime je omogućeno nečujno ugađanje. Univerzalnom sklopkom, koja je na istom mjestu, mogu se izvršiti sva važnija prekapčanja. Odabiranje područja prijema vrši se valnim preklopnikom. Prijemnik je ugrađen u drvenu kutiju dimenzija 447×565×319 mm.

313. — Konačno na sl. 222. i 223. vidimo kako su pojedini dijelovi ugrađeni, i kakav je vanjski izgled jednog industrijskog prijemnika, koji također ima šest elektronki i sedam titrajnih krugova i podudara se uglavnom s opisanim superom. Pojedini zahvati (ukapčanje, ugađanje širine pojasa, prekapčanje na reprodukciju gramofonskih ploča) vrše se jednim višepolnim preklopcem. Sve ostale pojedinosti mogu se vidjeti na popisu priloženom shemi i slikama, a odgovarajući dijelovi označeni su na jednom i na drugom istim brojevima. Prijemnik troši iz mreže oko 80 W.

Ponavljanje

Kao daljnji primjer supera upoznali smo *super sa šest elektronki i sedam titrajnih krugova,* za koje je upotrijebljena harmonička serija čeličnih elektronki, koje su međusobno ugođene. Iza pretpojačala, koje je regulirano i radi s ulaznim pojasnim flitrom, slijedi regulirana triodaheksoda vezana na pretpojačalo aperiodski, zatim reguliran stupanj međufrekventnog pojačala s demodulatorom, stupanj niskofrekventnog pojačala, reguliran unaprijed, s magičnim okom, izlazni stupanj i ispravljač s dvotaktnim ispravljanjem. Ovaj super ističe se posebno: četvorostrukom regulacijom fejdinga, promjenljivom širinom pojasa, optičkim indikatorom ugađanja, nečujnim ugađanjem, regulacijom jakosti zvuka prilagođenom osjetljivosti uha, regulatorom boje tona, negativnom reakcijom s izdizanjem basova, preklopcem za govor i glazbu i zaporom za 9 kHz.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto je super, o kojem smo govorili, naročito dobar u pogledu regulacije? *Odgovor:* Zato što su u njemu upotrijebljene međusobno prilagođene čelične elektronke iz harmoničke serije i zato što ima trostruku regulaciju fejdinga unatrag i jednostruku regulaciju unaprijed. — *P.:* Koji je stupanj reguliran unaprijed? *O.:* Niskofrekventno pojačalo. — *P.:* Koja je elektronka za to upotrijebljena? *O.:* Regulirana pentoda kombinirana s magičnim okom (EFM 11). — *P.:* Što je svrha indikatorskog dijela ove elektronke? *O.:* On služi kao magično oko za optičku indikaciju oštrine ugađanja. — *P.:* Što je prednost negativne reakcije, koja je primijenjena u opisanom superu? *O.:* Ona smanjuje faktor izobličenja i istodobno izdiže basove. — *P.:* Kako dolazi do izdizanja basova? *O.:* Kondenzator u članku za negativnu reakciju (oko 200 pF) praktički je kod viših tonskih frekvencija kratki spoj za omski otpor, kojemu je paralelno priključen, pa je negativna reakcija i smanjenje naponskog pojačanja na tim frekvencijama v e ć e nego na niskim.

Pitanja

147. Zašto se otpor u katodi niskofrekventnih pojačala premoštava e l e k t r o l i t s k i m kondenzatorom?
148. Što je svrha preklopca za govor i glazbu?
149. Koje su elektronke najprikladnije za gradnju velikog supera?

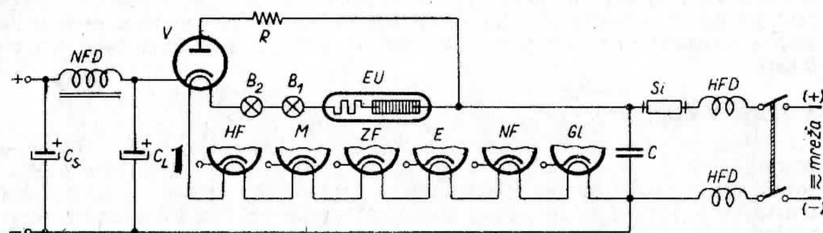
Zadaci

106. Demodulator i niskofrekventno pojačalo supera, koji je prikazan na sl. 219, ima otpore $R_{10} = 0{,}3$ MΩ, $R_{11} = 0{,}5$ MΩ, $R_{12} = 0{,}1$ MΩ, $R_{13} = 1$ MΩ: a) Do kojeg se stupnja modulacije može vršiti demodulacija praktički bez izobličenja pri posve otvorenom regulatoru jakosti zvuka? b) Koji bismo najveći stupanj modulacije imali bez otpora R_{10}?

107. Vrijednost elementa za aperiodsku vezu u anodnom krugu regulirane pentode EF 13 na sl. 221 je $L_4 = 5$ mH i $R_5 = 20$ kΩ: a) koji kapacitet mora imati paralelni trimer C_8 za rezonantnu frekvenciju od 430 kHz, ako se kapacitet elektroda i paralelni kapacitet spojeva uračuna kao kapacitet od 10 pF? b) Koliki je rezonantni otpor ovog kruga? c) Koliki otpor predstavlja ovaj krug za struje frekvencije 800 kHz?

Još neke primjedbe o superima

314. — Iako smo dosada govorili o superima građenim za priključak na mrežu *izmjenične struje,* mogu se i kod priključka na mrežu *istosmjerne struje* postići izvrsni rezultati. *Mrežni dio* supera mora u tom slučaju biti naravno drugačije izveden. Prijemnici za priključak samo na mrežu istosmjerne struje danas se više ne grade, nego se grade *univerzalni prijemnici,* koji se mogu priključiti kako na mrežu izmjenične, tako i na mrežu istosmjerne struje (vidi odsjeke 36 i 37). Prijemnik prikazan na sl. 219, odnosno 221, možemo upotrijebiti i kao univerzalni



Sl. 224.

prijemnik, ako mu mrežni dio spojimo prema sl. 224. Spoj na toj slici odgovara tačno spoju na sl. 33, pa je daljnje opisivanje suvišno, izuzev nekoliko dopunskih primjedaba. Ako jakost struje nije veća od 80 mA, može se za ispravljačicu *V* upotrijebiti jednotaktna ispravljačica CY 1. Ako je potrebna jača istosmjerna struja (do 120 mA), mora se upotrijebiti ispravljačica CY 2 za dvotaktno ispravljanje s paralelno spojenim anodama i katodama. Kako bi se izbjeglo nedopušteno brujanje, moraju se žarne niti pojedinih elektronki spajati određenim redom i to: otporka *EU* (vidi odsjek 35) — žaruljice za rasvjetu skale B_1, B_2 — ispravljačica *V* — visokofrekventno pretpojačalo *HF* — miješalica *M* — međufrekventno pojačalo *ZF* — izlazni stupanj *E* — niskofrekventno pojačalo *NF* — demodulator *Gl.* U superu sa pet elektronki i šest titrajnih krugova imali bismo prema tome s elektronkama za univerzalni pogon C-serije ovaj red spajanja: *EU* — B_1 — B_2 — *CY 1* — *CK 1* — *CF 3* — *CL 4* — *CBC 1.* U superu sa šest elektronki i sedam titrajnih krugova mogu se upotrijebiti i u ovoj izvedbi elektronke, koje smo upotrijebili prije, jedino je za izlazni stupanj potrebno uzeti univerzalnu izlaznu

pentodu CL 4 (vidi odsjek 251), pa bismo u tom slučaju imali ovaj redoslijed: *EU* — B_1 — B_2 — *CY 1* — *EF 13* — *ECH 11* — *CL 4* — *EFM 11* — *EBF 11.* Visokofrekventne prigušnice *HFD* i kondenzator *C* = 5 000 do 10 000 pF sprečavaju prodiranje visokofrekventnih smetnji iz rasvjetne mreže.

Snaga koja se troši na zagrijavanje žarnih niti u univerzalnim prijemnicima s elektronkama iz C-serije i E-serije prilično je velika, jer ove elektronke trebaju za žarenje jakost struje od 200 mA. Univerzalni super srednje veličine radi prilično neekonomično, jer se gotovo polovina snage u krugu žarnih niti mora utrošiti u predotporu. Zbog toga su 1939. izašle *elektronke U-serije,* kojih je struja žarnih niti 100 mA, pa se na taj način snaga za žarenje snizila na polovicu. Naponi žarnih niti ovih elektronki odabrani su tako da se snaga koja se troši na žarenje u superu sa četiri elektronke najekonomičnije iskorištava, pa je snaga koja se troši u predotporu vrlo malena. Pri naponu mreže od 220 V mogu se sve elektronke sa žaruljicama za rasvjetu skale i s odgovarajućim otporkama, spojiti u seriju (na primjer UCH 11 — UBF 11 — UCL 11 — UY 11 — otporka — žaruljica za rasvjetu skale). Ako je napon mreže 110 V, primjenjuju se dva paralelna kruga žarnih niti. Električke karakteristike elektronki iz U-serije odabrane su tako, da u univerzalnim prijemnicima za priključak na mrežu istosmjerne struje napona 220 V imamo i s t u korisnu snagu kao u prijemnicima za priključak na mrežu izmjenične struje sa pogonskim naponom od preko 250 V (iza ispravljača). Zbog toga je moguće spojeve i elemente, koji njima odgovaraju, predviđene za prijemnike sa priključkom na mrežu izmjenične struje, primijeniti bez daljnjega i za univerzalne prijemnike.

Veći broj prijemnika gradi se danas samo za priključak na mrežu izmjenične struje. Ako takve prijemnike želimo priključiti na mrežu istosmjerne struje, potreban je *vibrator* (vidi odsjek 341), koji se ukapča između mreže i prijemnika.

315. — Izlazna snaga i kvaliteta reprodukcije može se znatno poboljšati primjenom izlaznog stupnja s dvjema triodama ili pentodama u *protuspoju* (vidi odsjeke 147 do 150), što je i učinjeno u nekim kvalitetnim prijemnicima. Osjetljivost se također može povećati, ukoliko je to uopće potrebno, ugradnjom j o š j e d n o g stupnja međufrekventnog pojačala. Veliki superi imaju osim toga često i *preklopac* za lokalni prijem, pri čemu se aparat iskorištava kao kvalitetan direktan prijemnik s najvećom širinom pojasa. Veliki super, koji smo gore opisali, radi u tom slučaju kao direktan prijemnik sa pet elektronki i dva titrajna kruga samo sa ovim stupnjevima (vidi sl. 221): ulazni pojasni filtar — regulirana pentoda EF 13 — aperiodski anodni krug — desna dioda kombinirane elektronke EBF 11 — niskofrekventni regulator jakosti zvuka R_{22} — regulirana visokofrekventna pentoda i magično oko EFM 11 — izlazna pentoda EL 12 — ispravljač. Prekapčanje se pri tome može izvesti tako, da se radi s regulacijom unatrag ili regulacijom unaprijed.

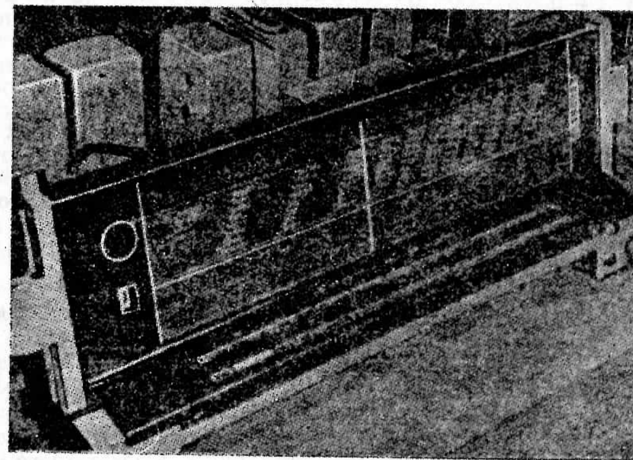
Ponavljanje

Superi se mogu graditi i kao *univerzalni* superi, pa je tada potreban drugačiji ispravljački dio s ispravljačicom za jednotaktno ispravljanje. U tom slučaju moraju se osim toga i žarne niti elektronki spajati posebnim redom, kako bi se izbjeglo prejako brujanje. Čelične elektronke iz E-serije, izuzev izlaznu pentodu, mogu se primijeniti i kod priključka na mrežu istosmjerne struje. Vrlo ekonomični univerzalni prijemnici mogu se graditi s elektronkama iz U-serije (jakost struje žarne niti je 100 mA) sa korisnom snagom jednako velikom kao kod odgovarajućeg prijemnika za priključak na mrežu izmjenične struje. Ako prijemnik građen za priključak na mrežu izmjenične struje želimo priključiti na mrežu istosmjerne struje, moramo upotrijebiti *vibrator*. Vrijednost supera može se povisiti ugradnjom izlaznog stupnja s elektronkama *u protuspoju* i dodavanjem još jednog stupnja međufrekventnog pojačala. Mnogi superi imaju još i preklopac za prijem lokalne stanice.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakve se elektronke mogu upotrijebiti u univerzalnom superu? *Odgovor:* Elektronke iz C-serije i E-serije osim izlaznih pentoda EL 11 i EL 12, jer one imaju struju žarne niti znatno veću od 200 mA. — *P.:* Da li se super za priključak na mrežu izmjenične struje s elektronkama iz A-serije može priključiti i na mrežu istosmjerne struje? *O.:* Da, ali preko vibratora. — *P.:* Na što treba paziti pri spajanju žarnih niti univerzalnih prijemnika? *O.:* One se moraju spajati određenim redom. — *P.:* Koja je žarna nit najbliža minus-vodu? *O.:* Žarna nit demodulatora i elektronke, koja vrši niskofrekventno pojačavanje, jer su te elektronke najosjetljivije s obzirom na brujanje. — *P.:* Kakva smo sredstva za daljnje poboljšanje kvalitete supera upoznali? *O.:* Izlazni stupanj u protuspoju, drugi stupanj međufrekventnog pojačala, preklopac za prijem lokalne stanice. — *P.:* U čemu se sastoji prekapčanje kod prijema lokalne stanice? *O.:* Kod prijema lokalne stanice iskorištava se super bez miješalice i međufrekventnog pojačala, dakle kao direktan prijemnik, pa se u najvećoj širini pojasa postizava naročito kvalitativna reprodukcija.

316. — U proizvodnji modernih prijemnika postoji sve veća težnja za što jednostavnijim, a po mogućnosti i *automatskim ugađanjem,* koje bi i neukome omogućilo besprijekorno i lagano ugađanje i najvećeg supera. Kao znatan doprinos pojednostavnjenju rukovanja upoznali smo već razne i n d i k a t o r e (odsjeci 233 do 237). Osim toga ima kod velikih supera spojeva koji omogućuju *automatsko ugađanje oštrine s automatskim izborom stanica pritiskom na odgovarajuće dugme.* Ugađanje jednog takvog supera nije onda ništa teže od biranja pretplatnika pomoću normalnog telefonskog aparata. Najstariji postupak, djelovanje kojeg ćemo kratko opisati, je *automatsko ugađanje motorom.* Ugađanje se tad vrši pritiskom na dugme koje se nalazi na pločici za biranje. Na sl. 225. vidimo primjerak jednog takvog supera sa 20 dugmeta, a sam super izveden je sa 8 titrajnih krugova i 12 elektronki. Anodna istosmjerna struja elektronki teče u stanju mirovanja kroz 20 sklopki, koje se otvaraju i zatvaraju pritiskom na odgovarajuće dugme. Ako se jedno dugme na pločici za biranje pritisne, ova se otvara, pa anodna struja ne teče više preko sklopke, nego kroz mali *motor za istosmjernu struju,* kojemu je osovina posebnim pogonom spojena sa zajedničkom osovinom promjenljivih kondenzatora za ugađanje. Smjer okretanja motora ovisi o tome da li se otvorena sklopka nalazi desno ili lijevo od *kliznog kontakta.* Ovaj klizni kontakt pomiče se po metalnom vodilu, koje ima 20 uskih prekidnih mjesta i nalazi se ispod 20 odgovarajućih sklopki. Uslijed okretanja motora klizni kontakt će se po metalnom vodilu gibati dotle, dok ne dođe na mjesto prekida, koje je otvoreno pritiskom na dugme. U tom momentu zatvara klizni kontakt odgovarajuće prekidno mjesto, pa anodna istosmjerna struja teče opet kroz sklopku i elektronku, a motor je bez struje i stoji. Prijemnik je sada ugođen na željeni odašiljač, a pritisnuto dugme vraća se u prvotni položaj. Pritiskom na drugo dugme mora klizni kontakt prevaliti dulji ili kraći put desno ili lijevo po vodilu, što znači da će se promjenljivi kondenzator, pokretan motorom, postaviti sada u drugi položaj. Svako mjesto prekida na metalnom vodilu odgovara položaju jedne od dvadeset važnijih stanica. Krug rešetke izlaznog stupnja supera posebnim relejem kratko se spaja za vrijeme automatskog traženja stanica, pa je prema tome u g a đ a n j e n e č u j n o.



Sl. 225.

317. — Iz ovoga što je dosada rečeno može se vidjeti da je automatsko ugađanje motorom vrlo skupo, jer iziskuje znatan potrošak materijala i vremena na finomehaničarske radove. Od ovakvog supera, ako se želi besprijekoran rad, traži se da automatsko ugađanje bude izvršeno sa pogreškom manjom od $\pm$ 500 Hz, što kod viših prijenosnih frekvencija već mnogo znači. Automatsko ugađanje dugmetom upotrebljava se zbog toga često samo kao g r u b o u g a đ a n j e sa tačnošću od 2 do 3 kHz. Fino ugađanje koje je baš kod supera vrlo važno, vrši se onda naknadno *automatskim ugađanjem oštrine,* o kojem ćemo govoriti kasnije.

Prijemnici s uređajem za automatsko ugađanje mogu se naravno dugmetom uz pomoć skale ugađati i rukom. Motor se može pri tome iskoristiti za brzo okretanje promjenljivog kondenzatora, pa u jednom dijelu vremena potrebnog za ugađanje nadomješta ručni pogon. Kod većine prijemnika za ugađanje s dugmetima nije posjednik prijemnika vezan na izbor stanica, koji je izvršila tvornica. Jednostavnim sredstvima moguće je naime za automatsko biranje odabrati bilo koju stanicu.

Ponavljanje

Automatsko ugađanje oštrine i *automatsko biranje stanica pritiskom na dugme* omogućuje vrlo jednostavno rukovanje i većim prijemnicima. Pri *automatskom ugađanju s motornim pogonom* bira se željeni odašiljač pritiskom na odgovarajuće dugme na pločici za biranje. Promjenljivi kondenzator za ugađanje pokreće se tada malim motorom za istosmjernu struju, kroz koji teče anodna struja elektronki. Istodobno s pokretanjem promjenljivog kondenzatora vrši se i pomicanje kliznog kontakta po metalnom vodilu do sklopke, koja je pritiskom na dugme ostala otvorena. Automatsko biranje s motornim pogonom ne smije imati pogreške ugađanja veće od ± 500 Hz. U protivnom slučaju mora se tačno fino ugađanje izvršiti automatskim regulatorom oštrine.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se ugađanje velikih supera može pojednostavniti? *Odgovor:* Optičkim indikatorom, automatskim biračem stanica i automatskom regulacijom oštrine. — *P.:* O kakvom smo postupku za automatsko biranje stanica dosada govorili? *O.:* O odabiranju pritiskom na dugme. — *P.:* Kako se pri tome vrši izbor stanice? *O.:* Pritiskom na dugme, koje se nalazi na pločici za biranje. — *P.:* Što okreće promjenljivi kondenzator za ugađanje? *O.:* Mali motor za istosmjernu struju. — *P.:* Kakva struja teče kroz taj motor? *O.:* Istosmjerna anodna struja svih elektronki prijemnika. — *P.:* Kako dugo je motor svaki put u pogonu? *O.:* Motor je u pogonu dotle, dok klizni kontakt pokretan istim motorom ne zatvori ponovno sklopku, koja je dugmetom za pritiskanje ostala otvorena. — *P.:* Kakav se uvjet mora postaviti za automatsko ugađanje? *O.:* Prijemnik mora da bude ugođen s tačnošću većom od ± 500 Hz. — *P.:* Kako se kod motornog pogona s manjom tačnošću ugađanja može usprkos tome postići tačno ugađanje? *O.:* Istodobnom primjenom postupka automatskog ugađanja oštrine.

Pitanja

150. Što je svrha otporke u mrežnom dijelu univerzalnih prijemnika?

151. Što razumijevamo pod automatizacijom rukovanja?

Zadaci

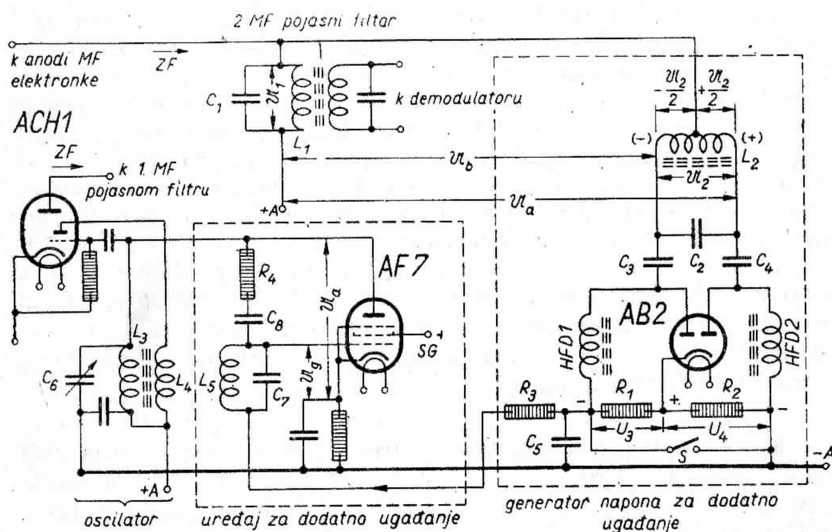
108. Super na slici 219. ima elektronke AK 2, AF 3, ABC 1 i AL 4. Izlazna pentoda AL 4 treba za potpuno uzbuđenje izmjenični napon od 3,6 V_{ef}, a naponsko pojačanje kombinirane elektronke ABC 1 je 20. Automatska regulacija fejdinga mora da bude odgođena, što znači da mora početi djelovati tek onda, kad je ulazni izmjenični napon dovoljno velik da može potpuno uzbuditi izlazni stupanj. Niskofrekventni regulator jakosti zvuka R_{11} neka bude otvoren do jedne trećine, a predotpor R_{10} neka ne postoji: a) Koliki mora da bude napon odgađanja kod stupnja modulacije 30% (vidi sl. 128 i 129 i odsjek 225)? b) Koliki mora da bude ulazni izmjenični napon u tom slučaju, ako elektronka u međufrekventnom pojačalu ima radnu strminu 1,8 mA/V i aktivni otpor u anodnom krugu 150 kΩ, a odgovarajuće vrijednosti za miješalicu su 0,6 mA/V i 250 kΩ; međufrekventni pojasni filtar vezan je kritično? c) Koliki je napon regulacije, ako je visokofrekventni napon na opteretnom otporu demodulatora narastao na četverostruku vrijednost usprkos regulaciji? d) Koliki je u tom slučaju ulazni izmjenični napon, ako je radna strmina elektronke AF 3, odnosno AK 2, zbog regulacije samo 0,4 mA/V, odnosno 9 μA/V? e) Koliki je ukupni odnos regulacije? f) Kako se mora namjestiti niskofrekventni regulator jakosti zvuka, da i u ovom posljednjem slučaju ne dolazi do preuzbuđenja izlaznog stupnja?

318. — Prijem bez izobličenja može se očekivati samo kod vrlo tačnog ugađanja na frekvenciju odgovarajućeg nosećeg vala (vidi odsjek 233). U selektivnim prijemnicima uzrokuje pogreška ugađanja od samih ± 500 Hz jasno primjetljivo pogoršanje kvalitete reprodukcije (postavljanje na bočne pojaseve!). Do pogreške ugađanja može doći i uslijed toga, što se vrijednost induktiviteta i kapaciteta mijenja zbog zagrijavanja prijemnika u pogonu. Ova pojava primjećuje se naročito neugodno u prijemu kratkih valova. Neugodnosti uslijed *pogreške pri ugađanju mogu se otkloniti automatskim ugađanjem oštrine.* Tu se radi o isključivo električnom postupku, koji omogućuje *naknadno ugađanje* (fino ugađanje) nakon približnog ugađanja izvršnog rukom ili motorom (vidi i odsjek 317). Kod prijemnika s automatskim ugađanjem oštrine dovoljno je i približno ugađanje na frekvenciju odašiljača, pa da se ipak može uvijek primati bez izobličenja.

319. — Automatska regulacija oštrine djeluje u principu na ovaj način: Ako je na primjer pogreška kod ugađanja 3 kHz, mora u prvom redu postojati mogućnost stvaranja *napona za popravljanje ugađanja*, koji će biti ovisan o veličini pogreške. Taj napon mora osim toga biti po predznaku ovisan o tome da li je pogreška ugađanja pozitivna ili negativna, to jest da li je namještena frekvencija viša ili niža od one koja bi trebala biti. Imamo dakle sličnu situaciju kao kod automatske regulacije fejdinga, samo se ovdje ne mijenja faktor pojačanja, nego se ispravlja pogreška ugađanja. U prijemniku mora da bude osim toga i *uređaj za naknadno ugađanje*, koji djelovanjem napona za regulaciju naknadno ugađa.

320. — Upoznat ćemo najprije najpoznatiji *spoj za dobivanje napona potrebnog za naknadnu regulaciju* (sl. 226 desno). Ulazni krug L_1—C_1 drugog međufrekventnog pojasnog filtra, na kojem imamo međufrekventni napon $\mathfrak{U}_1$, spojen je induktivno s titrajnim krugom L_2—C_2 ugođenim na međufrekvenciju. Ulazni krug spojen je osim toga jednopolno s odvojkom u sredini zavojnice L_2 titrajnog kruga L_2—C_2, koji služi za proizvođenje napona za ispravljanje ugađanja. Na ovom titrajnom krugu imamo izmjenični napon $\mathfrak{U}_2$. Oba kraja zavojnice L_2

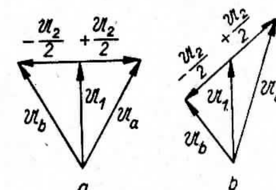
spojena su preko kondenzatora $C_3 = C_4 = 50$ pF (da se spriječi dolaženje istosmjernog napona s elektronke koja vrši visokofrekventno pojačavanje) na anode duodiode AB 2. Između srednjeg odvojka zavojnice L_2 i obiju anoda imamo izmjenični napon $+\mathfrak{U}_2/2$, odnosno $-\mathfrak{U}_2/2$, koji se ispravlja. Krajevi zavojnice L_2 imaju dakle prema $+A$ izmjenični napon $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{U}_1 + \mathfrak{U}_2/2$, odnosno $\mathfrak{U}_b = \mathfrak{U}_1 - \mathfrak{U}_2/2$, dakle visokofrekventno i prema $-A$, odnosno prema zemlji. Zbrajanje, odnosno odbijanje ovih izmjeničnih napona treba međutim shvatiti kao g e o m e t r i j s k o (vektorsko), jer između $\mathfrak{U}_1$ i $\mathfrak{U}_2$ postoji pomak u fazi (vidi dio I, odsjek 21 i 22). Fazni pomak tumači se time što izmjenični napon $\mathfrak{U}_1$ inducira u titrajnom krugu L_2—C_2 izmjenični napon $\mathfrak{U}_2$, a ovaj je prema smjeru namatanja



Sl. 226.

zavojnice u fazi s naponom $\mathfrak{U}_1$ ili je prema njemu fazno pomaknut za 180°. Ako se rezonantna frekvencija titrajnog kruga L_2—C_2 podudara s rezonantnom frekvencijom ulaznog kruga pojasnog filtra, onda će ukupna struja u titrajnom krugu L_2—C_2 biti u f a z i s izmjeničnim naponima $\mathfrak{U}_1$ i $\mathfrak{U}_2$. U slučaju rezonancije predstavljaju naime oba titrajna kruga L_1—C_1 i L_2—C_2 čisti omski otpor (vidi dio I, odsjek 111). Izmjenični napon $\mathfrak{U}_2$, odnosno $\mathfrak{U}_2/2$, pomaknut je prema izmjeničnoj struji koja teče kroz L_2 ili C_2 za 90°, a uslijed toga i prema izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_1$, pa imamo vektorsku sliku kao na sl. 227-a). Oba rezultirajuća izmjenična napona $\mathfrak{U}_a$ i $\mathfrak{U}_b$ jednako su veliki, pa se istosmjerni naponi U_3 i U_4 na opteretnim otporima $R_1 = R_2 = 1$ MΩ, koji i nastaju nakon detekcije, ukidaju. Ako se međutim frekvencija izmjeničnog napona dovedenog na zavojnicu L_2 uslijed netačnog ugađanja prijemnika promjenljivim kondenzatorima ne slaže posve s rezonantnom frekvencijom pojasnog filtra, onda se fazni pomak između napona povećava ili sma-

njuje. Osim toga nisu više ni izmjenični naponi $\mathfrak{U}_a$ i $\mathfrak{U}_b$ jednako veliki (sl. 227-b). Posljedica je toga da ni istosmjerni naponi U_3 i U_4 nisu više jednaki, pa između lijevog kraja otpornika R_1 i desnog kraja otpornika R_2 nastaje negativni ili pozitivni napon $(U_3 - U_4)$ prema $-A$, već prema tome da li je frekvencija izmjeničnog napona dovedenog na duodiodu veća ili manja od rezonantne frekvencije međufrekventnog pojasnog filtra. Razlika napona dovodi se kao »napon za naknadno ugađanje« preko filtra $R_3 = 0{,}1$ MΩ, $C_3 = 0{,}1$ μF k uređaju za naknadno ugađanje. Kako je desni kraj otpora R_2 spojen sa $-A$, mora se kod obiju dioda stvoriti put za istosmjernu struju



Sl. 227.

visokofrekventnim prigušnicama *HFD 1* i *HFD 2*. Uređaj za automatsko ugađanje oštrine može se dalje u slučaju potrebe isključiti kratkim spajanjem otpora R_1 i R_2 pomoću sklopke *S*. To se može na primjer učiniti kod prijema slabog odašiljača, koji se nalazi po frekvenciji u blizini jakog odašiljača.

Ponavljanje

Svrha *automatskog ugađanja* oštrine je automatsko korigiranje netačnog ugađanja prijemnika. U tu svrhu potrebno je proizvesti *napon za naknadno ugađanje,* ovisan o pogrešci ugađanja, pa onda taj napon dovesti na *uređaj za naknadno ugađanje.* Potrebni napon proizvodi se duodiodom, kojoj su anode spojene na dva kraja titrajnog kruga ugođenog na međufrekvenciju. Ovaj titrajni krug vezan je induktivno s posljednjim međufrekventnim pojasnim filtrom. Ako međufrekvencija uslijed netačnog ugađanja prijemnika nema tačno određenu vrijednost, nastaju na duodiodi dva nejednaka izmjenična napona, od kojih ispravljanjem dobivamo napon potreban za naknadno ugađanje.

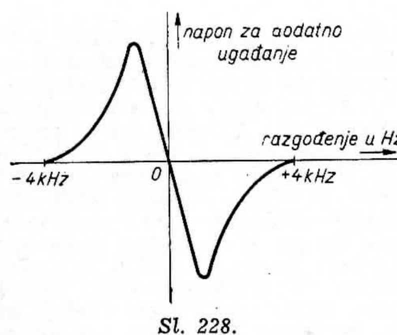
Pitanja i odgovori

Pitanje: Čemu služi automatska regulacija oštrine ugađanja? *Odgovor:* Za automatsko korigiranje neispravnog ugađanja prijemnika. — *P.:* Kakvu praktičnu svrhu ima ovaj postupak? *O.:* Željenu stanicu dovoljno je približno tačno namjestiti. — *P.:* Od kojih se dvaju spojeva sastoji napon za naknadno ugađanje oštrine? *O.:* Od uređaja koji proizvodi napon za naknadno ugađanje i od uređaja za samo naknadno ugađanje. — *P.:* Koji uvjet mora da ispunjava napon za naknadno ugađanje? *O.:* On mora da bude ovisan o veličini i smjeru pogreške ugađanja. — *P.:* Kako se proizvodi napon za naknadno ugađanje? *O.:* Duodiodnim ispravljačem, koji ima u anodnom krugu titrajni krug ugođen na međufrekvenciju. — *P.:* Koji se izmjenični napon dovodi na uređaj za proizvođenje napona za korekciju ugađanja? *O.:* Međufrekventni napon s posljednjeg međufrekventnog pojasnog filtra. — *P.:* Kad uređaj za naknadno ugađanje proizvodi napon potreban za takvo ugađanje? *O.:* Kad međufrekvencija nema pravu vrijednost. — *P.:* Što se radi s naponom za naknadno ugađanje? *O.:* On se preko filtra s otporima dovodi na uređaj za naknadno ugađanje.

321. — Pri netačnom postavljanju promjenljivog kondenzatora supera nastaje pri miješanju primljenog signala s onim proizvedenim od

pomoćnog oscilatora međufrekvencija, koja se ne podudara tačno s rezonantnom frekvencijom međufrekventnih pojasnih filtara. Uslijed ove razlike u frekvenciji nastaje u uređaju za proizvođenje regulacionog napona potreban napon koji se dovodi na uređaj za naknadno ugađanje (vidi odsjeke 319 i 320). Kako bi naknadno ugađanje s v i h promjenljivih kondenzatora bilo nepriličnо, u praksi se korigira automatski samo promjenljivi kondenzator o s c i l a t o r a. Pogreška ugađanja ulaznog kruga ostaje dakle i dalje, ali to ne znači naročito mnogo, ako ulazni krugovi imaju dovoljno veliku širinu pojasa. Selektivnost velikog supera određena je uostalom pretežno međufrekventnim filtrima međufrekventnog pojačala. Pri naknadnom ugađanju oštrine ne smije međutim područje frekvencije naknadnog ugađanja *(pomak frekvencije)* biti veće od polovice razmaka prijenosnih frekvencija dvaju susjednih odašiljača. Kako je razmak prijenosnih frekvencija određen sa 9 kHz (vidi dio I, odsjek 203), mora *pomak frekvencije biti ograničen na oko* $\pm$ *4 kHz.* Kod većeg pomaka frekvencije može se naime desiti da zbog automatskog izjednačenja pogreške ugađanja ostanemo »zalijepljeni« na odabranom odašiljaču, pa da uopće ne možemo slušati susjedni odašiljač a da ne iskapčamo uređaj za automatsko ugađanje oštrine. Moguće je međutim da se uređaj za automatsko ugađanje oštrine prebaci na j a č i susjedni odašiljač, mjesto na onaj na koji smo prijemnik ugodili, uslijed čega jedan odašiljač biva »povučen« u područje drugoga. Napon za naknadno ugađanje mora zbog toga biti ovisan o pogrešci ugađanja onako, kako je to prikazano na sl. 228. U tački rezonancije (ispravno ugađanje) i na obim granicama koje pripadaju području frekvencija naknadnog ugađanja, mora napon za naknadno ugađanje da bude jednak nuli.

322. — Korekcija oscilatorskog kruga vrši se *uređajem za naknadno ugađanje* (sl. 226 lijevo). Ovaj uređaj priključen je paralelno titrajnom krugu oscilatora L_8—C_8 i radi s pentodom (na primjer AF 7), koja se naziva i *elektronkom za pomak.* Napon s pomoćnog oscilatora dolazi s oscilatorskog dijela miješalice (na primjer ACH 1 ili AK 2) na anodu elektronke za pomak. Dio ovog izmjeničnog napona, koji je u isto vrijeme izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$ elektronke za pomak, dovodi se preko djelitelja napona R_4 (= 40 kΩ) — C_7 (= 500 do 1 000 pF) na uzbudnu rešetku elektronke za pomak. Kondenzator C_8 = 100 pF služi isključivo zato da se istosmjernom anodnom naponu elektronke za pomak spriječi dolazak na uzbudnu rešetku. Na kondenzatoru C_7 imamo tada izmjenični uzbudni napon rešetke $\mathfrak{U}_g$, koji djeluje na anodnu struju i koji zaostaje za anodnim izmjeničnim naponom za skoro 90°, ako je radni otpor R_4 mnogo veći



Sl. 228.

od kapacitivnog otpora kondenzatora C_7.[68]) Ovaj pomak u fazi između uzbudnog izmjeničnog napona rešetke $\mathfrak{U}_g$ i anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$ uzrokuje zaostajanje anodne izmjenične struje prema anodnom izmjeničnom naponu $\mathfrak{U}_a$ također za skoro 90°. Bez uzbudnog napona bio bi naime anodni izmjenični napon u f a z i s anodnom izmjeničnom strujom, jer bi elektronka za pomak djelovala tada kao čisti o m s k i otpor. Uslijed djelovanja uzbudnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_g$ ponaša se elektronka za pomak kao *induktivitet* između anode i katode (vidi dio I, odsjek 15). P o r a s t o m frekvencije pada reakcioni napon uzbudne rešetke $\mathfrak{U}_g$, jer otpor kondenzatora C_7 za izmjeničnu struju postaje kod veće frekvencije manji. Veličina induktiviteta ovisna je o strmini elektronke za pomak. Kako se strmina može mijenjati naponom za naknadno ugađanje dovedenim na uzbudnu rešetku preko otpora R_3, mijenja se i veličina induktiviteta elektronke za pomak. Što je napon za naknadno ugađanje p o z i t i v n i j i, to v e ć a je strmina, a to m a n j i induktivitet. Budući da je elektronka za pomak priključena p a r a l e l n o titrajnom krugu oscilatora, njegova će frekvencija biti korigirana po veličini i smjeru, kako to odgovara pogrešci ugađanja, pa će nastajati uvijek i s p r a v n a međufrekvencija. Zavojnica L_5 omogućuje ugađanje titrajnog kruga L_5—C_7 na frekvenciju koja se nalazi ispod područja frekvencije oscilatora. Time se postizava gotovo jednoličan pomak frekvencije i naročito strm pad uzbudnog napona rešetke $\mathfrak{U}_g$ s porastom frekvencije. Željeno ograničenje pomaka frekvencije (vidi odsjek 321) može se postići s jedne strane prestankom radne krivulje elektronke za pomak kod negativnog prednapona, a s druge strane početkom pojavljivanja struje rešetke kod pozitivnog prednapona. Ovo zahtijeva ispravno odabiranje radne tačke elektronke za pomak, naime u sredini iskoristivog područja promjene strmine.

Ponavljanje

Pri automatskom ugađanju oštrine supera ugađa se naknadno samo oscilator. Kako je razmak prijenosnih frekvencija 9 kHz, smije se naknadno ugađanje, dakle *pomak frekvencije,* protezati samo na područje od kojih $\pm$ 4 kHz. *Uređaj za naknadno ugađanje* sastoji se od e l e k t r o n k e z a p o m a k, koja je spojena paralelno titrajnom krugu oscilatora i kojoj je anodni izmjenični napon jednak izmjeničnom naponu pomoćnog oscilatora. Dio ovog izmjeničnog napona dovodi se s faznim pomakom od kojih 90° na uzbudnu rešetku elektronke za pomak. Time se može postići da elektronka za pomak djeluje kao i n d u k t i v i t e t. Veličina ovog induktiviteta mijenja se s veličinom napona za naknadno ugađanje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: U kojem se dijelu supera vrši automatsko ugađanje oštrine? *Odgovor:* U titrajnom krugu oscilatora. — *P.:* Kako se ovaj titrajni krug automatski naknadno ugađa? *O.:* Paralelno spojenom elektronkom, koja djeluje kao induktivitet. — *P.:* Kako može elektronka djelovati kao

[68]) Vidi dio I, sl. 29, samo što ondje mora da bude u_R mnogo veće od u_C. Dalje je $u_C = \mathfrak{U}_g$, $u_R = \mathfrak{U}_R$, a $u = \mathfrak{U}_a$.

induktivitet? *O.*: Ako se dio izvana dovedenog anodnog izmjeničnog napona dovede i na rešetku s faznim pomakom od 90°, onda će anodna izmjenična struja, kao i kod induktiviteta, zaostajati za anodnim izmjeničnim naponom za 90°. — *P.*: Što razumijevamo pod pomakom frekvencije pri automatskom ugađanju oštrine? *O.*: Veličinu područja frekvencija na koje se proteže naknadno ugađanje. — *P.*: Koliki smije biti pomak frekvencije? *O.*: Najviše $\pm$ 4 kHz.

Pitanja

152. Zašto se kod automatske regulacije oštrine ugađanja upotrebljava pentoda kao elektronka za pomak?

153. Zašto pomak frekvencije kod automatskog ugađanja oštrine mora da bude ograničen na oko $\pm$ 4 kHz?

154. Uslijed čega postaje »induktivitet« elektronke za pomak automatski veći ili manji?

Zadaci

109. Djelitelj izmjeničnog napona elektronke za pomak kod uređaja za automatsko ugađanje oštrine na sl. 226. sastoji se od omskog otpora od 40 kΩ i kapaciteta od 500 pF. Anodni izmjenični napon iznosi 10 V_{ef}, a frekvencija je 1 MHz: a) Koliki je dio napona doveden na uzbudnu rešetku elektronke za pomak? b) Kolika je jakost anodne izmjenične struje, ako je strmina 1,5 mA/V? c) Koliki otpor za izmjeničnu struju predstavlja elektronka za pomak u ovom slučaju? d) Koliki je taj otpor, ako strmina padne na 1/10 gornje vrijednosti?

VII. Baterijski prijemnici

Općenito o baterijskim prijemnicima

323. — Prvi prijemnici bili su *baterijski prijemnici*. Za izvor energije služio je akumulator za žarenje i anodna baterija (suha baterija). Kad su došli u upotrebu prijemnici s priključkom na mrežu, kojih je pogon znatno jeftiniji i ugodniji, pogotovo za veće tipove aparata, došlo je do općeg napuštanja baterijskih prijemnika. Tokom vremena pojavljivala se sve više želja da se radio ne sluša samo kod kuće, nego također na putu, na slobodnom prostoru za vrijeme dopusta, izleta itd. Za takve potrebe dolaze u obzir prijemnici, koji rade bez priključka na mrežu, dakle baterijski prijemnici. Uslijed toga je u kasnijim godinama došlo do ponovnog uvođenja i daljnjeg razvoja baterijskih prijemnika, tako da danas industrija proizvodi prvorazredne baterijske prijemnike za svaku svrhu.

324. — Postoje uglavnom dvije vrsti baterijskih prijemnika: 1. Stalni baterijski prijemnici, koji se upotrebljavaju u kućanstvima bez priključka na električku mrežu. Kao primjer za ovaj slučaj opisan je jedan baterijski prijemnik u odsjeku 326. 2. Prenosivi baterijski prijemnici na primjer prijemnici ugrađeni u kovčeg ili automobil, koji služe za upotrebu u ljetnikovcima, za zabave na prostoru, u motornom čamcu, jedrenjaku ili automobilu itd. Prenosivi baterijski prijemnici moraju biti svakog trenutka pripravni za pogon i davati istu snagu prijema kao i stalni baterijski prijemnici. Prije svega ne smije težina prenosivih baterijskih prijemnika biti prevelika[69]), a isto tako ni dimenzije. Osim toga se traži da prenosivi baterijski prijemnici budu neovisni o poteškoćama s obzirom na postavljanje antene. Radi toga se upotrebljava često već u prijemniku ugrađena okvirna antena (vidi dio I, odsjek 175). Zbog malene osjetljivosti okvirne antene grade se baterijski prijemnici na principu super-heterodina. Pomoću takvog prijemnika može se primati i preko čitavog dana po više stanica besprijekorno. Jednostavni direktni baterijski prjemnici s tri elektronke prikladni su uz upotrebu pomoćne antene samo za primanje blizih lokalnih odašiljača.

---

[69]) Prijemnici u kovčegu teški su (prema stanju na tržištu) 4,8—18 kilograma.

325. — Najvažniji problem baterijskih prijemnika je pitanje *baterija*. Prečesto obnavljanje anodne baterije i baterije za žarenje čini pogon preskupim. Ekonomičniji prijem pomoću baterijskih prijemnika postignut je tek uvođenjem baterijskih elektronki *K serije* (vidi odsjek 38). Te elektronke troše na žarenje 0,05 do 0,26 A uz napon od 2 V, te najpovoljnije rade pri anodnom naponu od 90 V (maksimalni anodni napon iznosi 135 V). Daljnja prednost ovog tipa elektronki je u tome što se za žarenje može upotrijebiti lakši 2-voltni akumulator ili 2-voltna suha baterija. Za prenosive baterijske prijemnike grade se specijalni akumulatori, iz kojih se kiselina ne može proliti ni u izvrnutom položaju. U takvom akumulatoru najčešće se nalazi kiselina koja je želatinirana. To je neka želatinska masa koja se dodatkom vodenog stakla pretvara u akumulatorsku kiselinu. Ekonomičnost baterijskog prijemnika ovisi i o jakosti anodne struje, koja je većinom određena izlaznom elektronkom. Prosječna jakost anodne struje izlazne elektronke može se znatno smanjiti posebnim *spojem za štednju anodne struje* (vidi odsjek 327), pa se time trajanje anodne baterije produžuje. Svi ovi navodi jasno pokazuju kakva su sve poboljšanja izvedena na baterijskim prijemnicima. Tako je baterijski prijemnik danas jednak prijemniku s priključkom na mrežu.

Ponavljanje

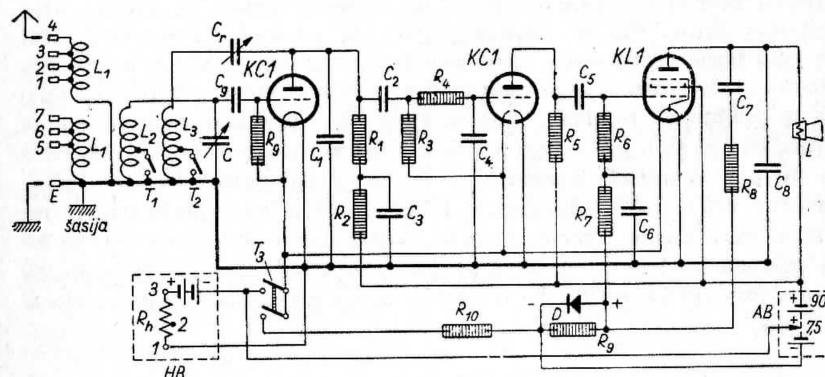
Baterijski se prijemnici upotrebljavaju ne samo u kućanstvima bez priključka na električku mrežu, nego također u obliku prenosivih putnih prijemnika u kovčegu na putovanjima, kao automobilski prijemnici, na izletima, prigodom sporta na vodi itd. Prenosivi baterijski prijemnici ne smiju biti preteški niti preveliki. Upotrebom okvirne antene postaje prijemnik neovisan o poteškoćama s antenom. Baterijske elektronke K-serije omogućuju ekonomičan pogon. Za žarenje mogu se u ovom slučaju upotrijebiti čak i suhe baterije. Za prenosive baterijske prijemnike postoje specijalni akumulatori sa suhim punjenjem, tako da se kiselina ne može proliti. Posebnim štednim spojem može se znatno smanjiti anodna struja izlaznog stupnja i time produžiti trajanje anodne baterije.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje vrsti baterijskih prijemnika razlikujemo? *Odgovor:* Stalne i prenosive baterijske prijemnike. — *P.*: Gdje se upotrebljavaju stalni baterijski prijemnici? *O.*: U kućanstvima bez priključka na mrežu. — *P.*: Koja je svrha prenosivih baterijskih prijemnika? *O.*: Oni služe za primanje radiodifuznih stanica prigodom zadržavanja na slobodnom prostoru za vrijeme izleta, za vožnje u čamcu ili automobilu itd., pa se prema tome grade u obliku kovčega, putnog prijemnika ili automobilskog prijemnika. — *P.*: Koji se osnovni zahtjevi postavljaju na ovakav prijemnik? *O.*: Malena težina, malene dimenzije, neovisnost o priključku vanjske antene, što je moguće manji potrošak anodne struje i struje za žarenje. — *P.*: Koja je prijemna antena najprikladnija za prenosivi baterijski prijemnik? *O.*: Okvirna antena. — *P.*: Da li je okvirna antena prikladna za svaku vrstu baterijskih prijemnika? *O.*: Ne, ona je prikladna samo za veće tipove baterijskih prijemnika (supere). — *P.*: Koje elektronke dolaze prvenstveno u obzir za baterijske prijemnike? *O.*: Elektronke *K*-serije s naponom žarenja od 2 V. — *P.*: Koji se izvori energije upotrebljavaju za pogon baterijskih prijemnika? *O.*: Akumulatori za žarenje, odnosno suhe baterije za žarenje, te anodne suhe baterije. — *P.*: Kako se može anodna struja nekog baterijskog prijemnika održati što manjom? *O.*: Primjenom spoja za štednju anodne struje izlaznog stupnja.

Nekoliko primjera baterijskih prijemnika

326. — Spoj baterijskog prijemnika u načelu se podudara sa spojem prijemnika s priključkom na električku mrežu. Naravno da baterijski prijemnik nema takozvani »mrežni dio«. Osobitu pažnju zaslužuje *spoj izlaznog stupnja*, budući da izlazna elektronka najjače opterećuje anodnu bateriju. Zadovoljavajuća jakost prijema zahtijeva odgovarajući potrošak energije istosmjerne struje. Razmotrimo najprije spoj jednog pučkog prijemnika s priključkom na baterije. Ovdje se radi, kao što vidimo na sl. 230, o *direktnom prijemniku s jednim titrajnim krugom i s tri elektronke*. Prvi stupanj je spojen kao audion s induktivnom reakcijom reguliranom promjenljivim kapacitetom, a radi sa triodom KC 1 (2 V; 0,065 A). Ovaj spoj potpuno je jednak onome pučkog prijemnika na sl. 141 (usporedi odsjek 186). U ovom slučaju nije audion na slijedeći stupanj niskofrekventnog pojačala vezan preko transformatora, nego preko otpora i kondenzatora ($R_1 = 100$ kΩ, $C_2 = 4\,500$ pF); $R_2 = 100$ kΩ i $C_3 = 0{,}5$ μF čine zapor protiv reakcije. U krugu rešetke elektronke KC 1 spojen je odvodni otpor rešetke $R_3 = 1$ MΩ i visokofrekventni zapor $R_4 = 100$ kΩ i $C_4 = 150$ pF. Ovaj stupanj pojačala otpornom je vezom ($R_5 = 1$ MΩ, $C_5 = 4\,500$ pF) priključen na izlazni stupanj. U izlaznom stupnju radi izlazna pentoda KL 1 (2 V, 0,15 A), koja uz anodni napon od 90 V daje izlaznu snagu od 0,2 W uz faktor izobličenja od 10%. Kondenzator $C_8 = 3\,000$ pF sprečava samouzbuđenje prijemnika i prejako izdizanje visokih tonova.



Sl. 230.

327. — Izlazni stupanj snabdjeven je *spojem za štednju anodne struje* spomenutim u odsjeku 325. (prema N e s t e l u). U neuzbuđenom stanju (bez signala) dobiva uzbudna rešetka izlazne elektronke temeljni prednapon od —7,5 V s odvojka anodne baterije *AB*. Pri tome je anodna struja mirovanja otprilike 3 mA. U uzbuđenom stanju, dakle za vrijeme prijema, dovodi se dio anodnog izmjeničnog napona preko zapornog kondenzatora C_7 na djelitelj napona $R_8 = 500$ kΩ + $R_9 = 300$ kΩ. Na otporu R_9 nastali niskofrekventni napon ispravlja se paralelno spojenim *ispravljačem D* (na primjer sirutor-bakreni oksidul, usporedi odsjek 22), pri čemu treba paziti na ispravan polaritet. Kao posljedica ispravljanja nastaje na otporu R_9 pulsirajući napon, koji djeluje p r o t i v temeljnog prednapona rešetke od —7,5 V. Kako oba istosmjerna napona leže u seriji, dobiva uzbudna rešetka izlazne elektronke preko filtarskog člana $R_7 = 200$ kΩ i $C_6 = 0,5$ µF (potiskivanje niskofrekventnih promjena napona slično kao kod reguliranja fejdinga) i preko odvodnog otpora rešetke $R_6 = 1$ MΩ m a n j i prednapon nego u staju mirovanja. Radna tačka pomakne se dakle na radnoj karakteristici izlazne elektronke prema gore, u ravniji dio karakteristike, te istodobno poraste i anodna istosmjerna struja. Što je glasniji prijem, to je veći anodni izmjenični napon izlazne elektronke i na otporu R_9 nastali i s t o s m j e r n i napon. Radna tačka pomiče se automatski prema jakosti prijema, tako da je prednapon rešetke što je moguće više negativan, a uz to da na raspolaganju stoji još uvijek dovoljno velik ravni dio karakteristike. Što je tiši prijem (pijano u muzici), to će manji biti potrošak anodne istosmjerne struje. Bez štednog spoja bila bi anodna istosmjerna struja, bez obzira na primane signale, prilično velika. Ovako vidimo da se opterećenje anodne baterije prilagođuje glasnoći prijema. Anadna istosmjerna struja mijenja se između 3 i 8 mA, pa njena prosječna vrijednost iznosi 3,8 mA.

328. — Žarne niti elektronke spojene su paralelno na bateriju za žarenje *HB*. Za pučke prijemnike postoje posebne suhe baterije za žarenje s početnim naponom od 3 V. Suvišni napon (oko 1 V) poništava se u p r e d o t p o r u R_h ugrađenom u bateriju (priključak), kao što je nacrtano na sl. 230. Ako se napon baterije nakon dulje upotrebe smanji, zamijeni se priključak broj *1* s brojem *2*, odnosno *3*, to jest predotpor se smanji, odnosno isključi. Na ovaj se način može baterija za žarenje iskoristiti sve dotle, dok njezin napon ne padne ispod 2 V. Osim toga dobavljaju se za pučke prijemnike posebne anodne baterije koje imaju priključak samo kod 90 V i jedan jedini odvojak kod 7,5 V za negativni prednapon rešetke. Paralelno »bateriji rešetke« spojen je otpor $R_{10} = 2$ kΩ. Na ovaj je način i »baterija rešetke« opterećena otprilike sa 3,8 mA, tako da se jednako troši kao i preostali dio anodne baterije. Dvopolna sklopka S_3 ne iskapča samo struju žarenja, nego i struju opterećenja »rešetkine baterije«, tako da se anodna baterija ne troši kad se ne sluša.

Ponavljanje

Opisani pučki prijemnik za baterijski priključak direktni je prijemnik s jednim krugom i tri elektronke. Sastoji se od audiona s reakcijom, koji preko otporne veze djeluje na niskofrekventni stupanj pojačala, iza kojeg opet preko otporne veze slijedi izlazna pentoda. Izlazni stupanj snabdjeven je š t e d n i m s p o j e m, čime se postizava to, da se anodna struja, pa prema tome i trošenje anodne baterije, prilagođuje glasnoći prijema. Pomoću ispravljača ispravlja se naime dio anodnog izmjeničnog napona, te se tako dobiveni istosmjerni napon upotrebljava za snižavanje osnovnog prednapona rešetke. Porastom glasnoće prijema pomiče se radna tačka izlazne elektronke prema višoj vrijednosti anodne struje i u ravniji dio karakteristike. Baterija za žarenje ovog pučkog prijemnika ima predotpor s odvojcima za smanjivanje prevelikog početnog napona. Nakon dulje upotrebe iskapča se predotpor najprije djelomično, a zatim potpuno.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kojoj skupini prijemnika pripada opisani pučki prijemnik? *Odgovor:* Skupini direktnih prijemnika s jednim krugom i tri elektronke, s priključkom na baterije. — *P.:* Kako je ovaj prijemnik u načelu spojen? *O.:* Kao audion s reakcijom, koji je preko otpora vezan s niskofrekventnim predstupnjem, a ovaj je također otporno vezan s izlaznom pentodom. — *P.:* Koje su osobitosti izlaznog stupnja? *O.:* Ima spoj za štednju anodne baterije. — *P.:* Koje su prednosti time dobivene? *O.:* Anodna je struja u stanju mirovanja (bez signala) vrlo malena, te raste s glasnoćom prijema. Opterećenje anodne baterije ravna se dakle prema glasnoći prijema. — *P.:* Kako djeluje spoj za štednju anodne baterije? *O.:* Ispravljanjem jednog dijela anodnog izmjeničnog napona izlazne elektronke nastaje istosmjerni napon, koji djeluje nasuprot osnovnom prednaponu rešetke. — *P.:* Na što djeluje ovaj istosmjerni napon? *O.:* Na prednapon rešetke izlazne elektronke, koji je to manji, što je veća jakost prijema. Time se radna tačka izlazne elektronke pomiče prema gore, dakle u ravniji dio karakteristike, te uslijed toga postaje anodna struja veća. — *P.:* Koji se izvori napona upotrebljavaju za ovaj pučki prijemnik? *O.:* Posebno za ovaj pučki prijemnik građena suha baterija za žarenje i posebna anodna baterija.

Pitanja

155. Koji se izvor struje žarenja upotrebljava za baterijske prijemnike?

156. S kojim elektronkama radi opisani pučki prijemnik?

157. Kakvi ispravljači dolaze u obzir kod spoja za štednju anodne baterije?

158. Čemu služi filtar R_4—C_4 u prijemniku na sl. 230?

Zadaci

110. Baterija za žarenje gore opisanog pučkog prijemnika ima uz određenu struju žarenja i trosatni dnevni pogon kapacitet od 280 ampersati: a) Kolika je struja žarenja? b) Koliko pogonskih sati traje ova baterija? c) Koliki su troškovi za žarenje na sat, u slučaju da baterija za žarenje stoji 200 dinara?

329. — Kod dosada opisanih baterijskih prijemnika radilo se o stalnim (kućnim) prijemnicima. Sada ćemo upoznati dva primjerka p r e n o s i v i h prijemnika u kovčegu, dakle dva *putna prijemnika*. Jedan od

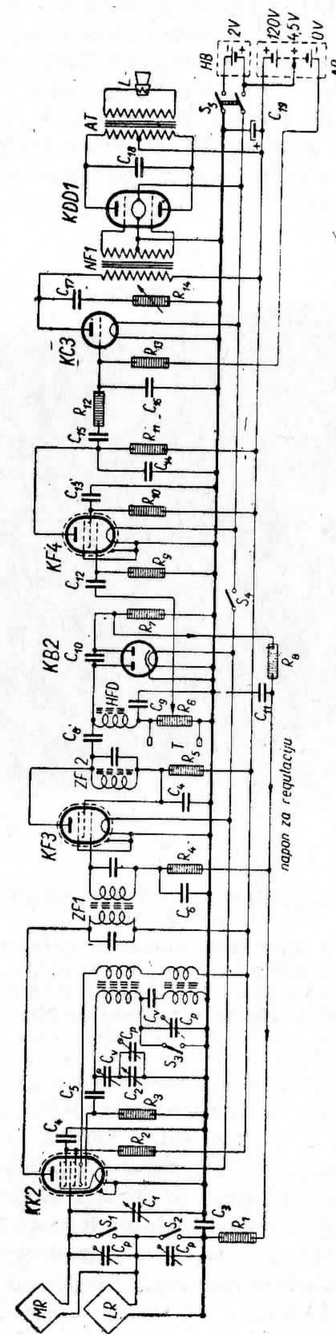
njih je građen kao direktan prijemnik s dva kruga i četiri elektronke u plosnatom priručnom kovčegu. Osnovni spoj je ovaj: a) visokofrekventni stupanj pojačala s pentodom KF 4, sa zapornim krugom u anodnom krugu; b) audion s triodom KC 1, s reakcijom na anodni zaporni krug; c) preko otporne veze priključeni niskofrekventni stupanj pojačala s triodom KC 1; d) preko otporne veze priključeni izlazni stupanj s pentodom KL 1. Područje prijema na srednjem valu je od 200 do 600 m, a na dugom valu od 800 do 2 000 m.

330. — Prijemnik ima ugrađenu okvirnu antenu, te je neovisan o vanjskoj anteni. Može se upotrijebiti i pomoćna antena, tako da se u tom slučaju potpuno iskorištava vrijednost prijemnika. U prijemniku se nalazi dinamički zvučnik s permanentnim magnetom, tako da za zvučnik nije potrebna struja uzbuđivanja. Izlazna snaga ovog prijemnika je oko 0,6 W, struja za žarenje 0,345 A, prosječna anodna struja oko 8 mA, a ukupna težina (s baterijama) oko 9 kg. Dimenzije su mu 360 mm × 270 mm × 155 mm.

331. — Za drugi primjer prijemnika u kovčegu promotrit ćemo jedan *kvalitativni prijemnik s pet krugova i šest elektronki.* Njegov spoj prikazan je na sl. 231. Budući da smo način rada ovog spoja već ranije upoznali, bit će ovaj opis kraći. *Stupanj za miješanje* ima oktodu KK 2 (vidi odsjek 286 i sl. 208). U ulaznom krugu spojene su dvije prostorno razmaknute (bez međusobnog utjecaja) okvirne antene, i to *MR* za primanje srednjeg vala i *LR* za primanje dugog vala. Ovaj je način povoljniji nego primjena jedne jedine okvirne antene, jer ne mogu nastati nikakvi gubici uslijed kratko spojenih ili otkopčanih zavoja. Kad se prima srednji val uključena je sklopka S_2, a sklopka S_1 je otvorena. Okvirna antena *LR* je u ovom slučaju kratko spojena. Kad se prima dugi val obratno je. U ulaznom krugu (kondenzator za ugađanje C_1) i u krugu oscilatora (kondenzator za ugađanje C_2) ucrtani su paralelni promjenljivi kondenzatori (trimeri) C_p i kondenzatori za skraćivanje C_v (usporedi odsjeke 262, 293 do 295, sl. 213).

332. — Međufrekventni titraji preko međufrekventnog pojasnog filtra *ZF 1* s dva kruga dolaze k *međufrekventnom stupnju,* koji radi sa eksponencijalnom pentodom KF 3. Nakon pojačanja dolaze titraji preko međufrekventnog filtra *ZF 2* sa jednim krugom i kondenzatora C_8 = 100 pF do d e m o d u l a t o r a s indirektno žarenom duodiodom KB 2. Do demodulacije dolazi na l i j e v o j anodi, tako da se s paralelnog otpora za opterećenje $R_6 = 0{,}6$ MΩ, koji služi ujedno za regulator jakosti zvuka, uzimaju niskofrekventni titraji. Visokofrekventna prigušnica *HFD* i kondenzator $C_9 = 100$ pF djeluju kao visokofrekventni zapor. Na otpor R_8 spojene su priključnice *T* za priključak električke zvučnice. Na sklopku S_4 djeluje se automatski utjecanjem priključnice zvučnice. Time su isključene za reprodukciju gramofonskih ploča nepotrebne elek-

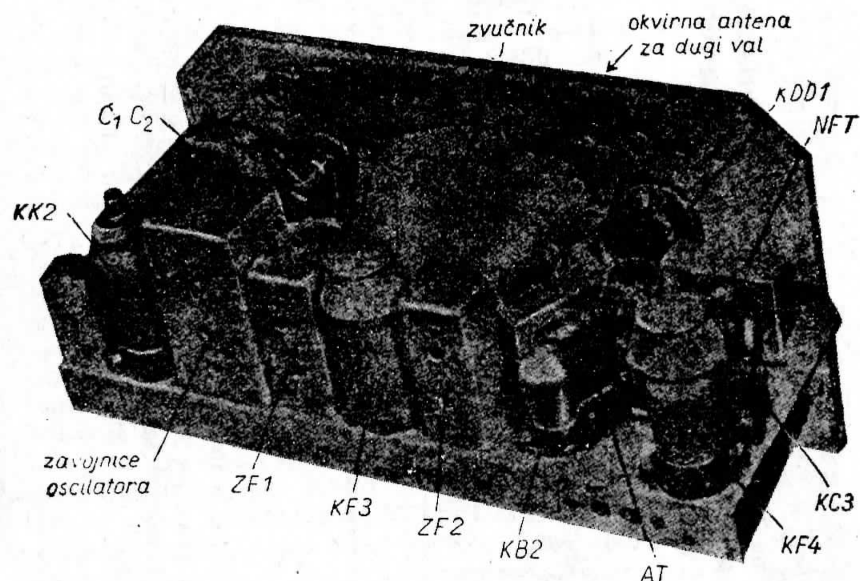
Potpuna shema supera u kovčegu na baterijski pogon s pet titrajnih krugova i šest elektronki, s ugrađenom dvostrukom okvirnom antenom, dvostrukom fejding-regulacijom i regulatorom boje tona



Sl. 231.

$C_1 = C_2 = 550$ pF, $C_3 = 50\,000$ pF, $C_4 = 0{,}1$ μF, $C_5 = 100$ pF, $C_6 = 10\,000$ pF, $C_7 = 0{,}1$ μF, $C_8 = C_9 = C_{10} = 100$ pF, $C_{11} = 50\,000$ pF, $C_{12} = 10\,000$ pF, $C_{13} = 0{,}5$ μF, $C_{14} = 200$ pF, $C_{15} = 10\,000$ pF, $C_{16} = 50$ pF, $C_{17} = 30\,000$ pF, $C_{18} = 5\,000$ pF, $C_{19} = 4$ μF, $R_1 = R_2 = 0{,}1$ MΩ, $R_3 = 50$ kΩ, $R_4 = 0{,}1$ MΩ, $R_5 = 2$ kΩ, $R_6 = 0{,}5$ MΩ, $R_7 = R_8 = 1$ MΩ, $R_9 = R_{10} = 0{,}5$ MΩ, $R_{11} = R_{12} = 0{,}1$ MΩ, $R_{13} = 1$ MΩ, $R_{14} = 0{,}5$ MΩ.

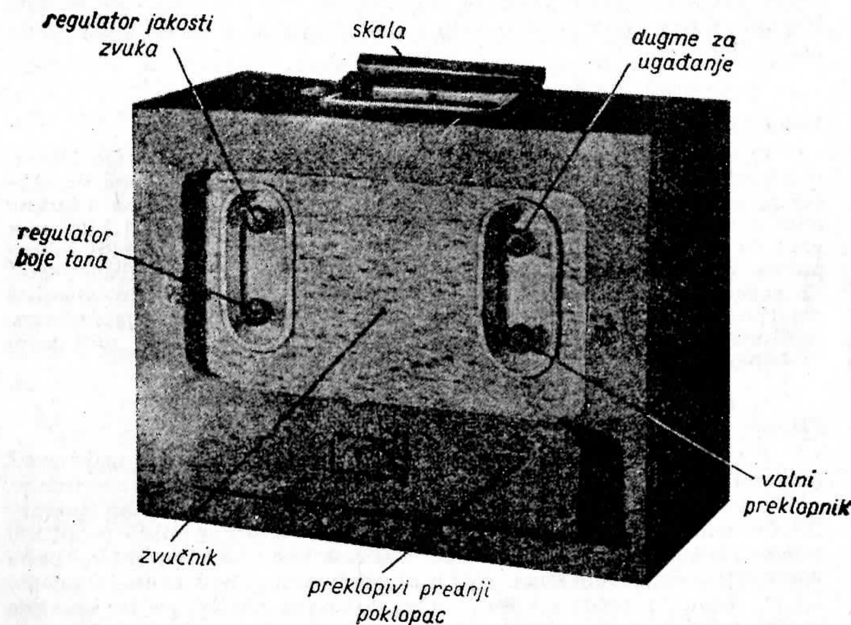
tronke KK 2, KF 3 i KB 2 i ujedno se štedi i struja za žarenje. Dio visokofrekventnih titraja djeluje također preko kondenzatora C_{10}=100 pF na desni diodni sistem duodiode KB 2. Ovdje na paralelnom optečenom otporu R_7 = 1 MΩ nastaje napon regulacije bez odgađanja, koji se dovodi preko dva članka otpornog filtra R_8 = 1 MΩ, C_{11} = 50 000 pF, odnosno R_1 = 0,1 MΩ, C_3 = 50 000 pF, međufrekventnom stupnju, odnosno stupnju za miješanje. Ovaj super-prijemnik ima dakle regulaciju fejdinga na dva stupnja.



Sl. 232. — *Pojedini dijelovi supera sa sl. 231. na gornjoj strani metalne šasije.*

Neki dijelovi su pažljivo oklopljeni. Skala za ugađanje nije vidljiva, jer se nalazi iznad zvučnika na gornjoj strani kovčega. Okvirna antena za duge valove ugrađena je na prednju ploču, a okvirna antena za srednje valove u stražnju stijenu kovčega.

333. — Niskofrekventni titraji dovedeni preko kondenzatora C_{12} = = 10 000 pF pojačavaju se u daljnjem stupnju otpornog pojačala s pentodom KF 4, pa se zatim dovode preko kondenzatora C_{15} = 10 000 pF i visokofrekventnog zapora R_{12} = 0,1 MΩ, i C_{16} = 50 pF pretposljednjem stupnju s triodom KC 3. Pretposljednji stupanj mora davati izmjeničnu snagu rešetki za izlazni B-stupanj (vidi odsjek 154), budući da izlazni stupanj radi pretežno u području struje rešetke. U anodnom krugu pretposljednje elektronke spojen je regulator boje tona C_{17} = 30 000 pF — R_{14} = 0,5 MΩ i protufazni ulazni transformator *NFT* s prijenosnim odnosom 3 : 1. *Izlazni stupanj* spojen je, kao što je spomenuto, u protufaznom B-spoju. Time se dobiva uz malen potrošak anodne struje velika snaga prijema. U izlaznom stupnju upotrijebljena je dvostruka trioda KDD 1. U ovom smo spoju izlaznog stupnja, koji je zbog svog malenog potroška anodne struje (kod uobičajene glasnoće prosječno oko 8 mA) i zbog toga što nije potreban poseban izvor za prednapon rešetke, osobito prikladan za putne prijemnike, opširno govorili u odsjeku 155. (usporedi također sl. 117). Izlazni transformator *AT* neophodno je potreban za ispravno prilagođenje zvučnika. Sklopkom S_5 može se ukapčati i iskapčati struja žarenja svih elektronki. Elektrolitski kondenzator C_{19} = 4 μF odvodi niskofrekventne titraje mimo anodne baterije *AB*, da bi se, osobito kad se istroši anodna baterija, spriječilo lako nastajanje niskofrekventne reakcije. Svi ostali podaci vidljivi su na sl. 231.



Sl. 233. — *Vanjski izgled supera sa sl. 231.*

Skala za ugađanje nalazi se pod ručkom za nošenje. Stražnja stijena, u koju je ugrađena okvirna antena za srednje valove, može se preklopiti prema gore, pa je onda okvirna antena posve slobodna, uslijed čega se postizava dobar prijem udaljenih stanica. Kod prijema treba voditi računa o činjenici da svaka okvirna antena ima direkciono djelovanje, te stoga ravnina namotaja mora da bude u smjeru prema odašiljaču koji se prima, ako se želi postići najveća jakost zvuka. Dimenzije prijemnika su: visina 340 mm, širina 420 mm i dubina 190 mmm.

334. — Na sl. 232. i 233. vidimo pojedine dijelove iznad metalne šasije i vanjski izgled opisanog putnog prijemnika. Oznake se tačno podudaraju sa spojem. Uslijed dobrog metalnog oklapanja pojedinih dijelova omogućena je gradnja putnog prijemnika na najmanjem prostoru. Izvlačenjem ili utiskivanjem dugmeta na regulatoru boje tona R_{14} vrši se ukapčanje i iskapčanje prijemnika. Prednji dio prijemnika može se za vrijeme pogonske stanke zatvoriti posebnim poklopcem. Daljnje pojedinosti možemo naći iz opisa uz slike. Obična anodna baterija od 120 V izdrži u ovom putnom prijemniku približno 180 pogonskih sati, a mali dobro zatvoreni akumulator za žarenje, napona 2 V, otprilike 40 sati. Ukupna težina ovog putnog prijemnika (zajedno s baterijama) iznosi oko 15 kg.

Ponavljanje

Opisani putni prijemnik je direktni prijemnik s dva kruga i četiri elektronke, a sastoji se od visokofrekventnog stupnja, audiona s reakcijom, niskofrekventnog otpornog stupnja i izlaznog stupnja. Okvirna antena služi kao prijemna antena, no može se upotrijebiti i bilo koja vanjska antena. Nadalje smo upoznali spoj i konstrukciju osobito dobrog putnog prijemnika s pet krugova i šest elektronki za baterijski pogon. Najvažnije osobitosti spoja ovog putnog prijemnika su: dvije odvojene okvirne antene za srednje i duge valove, dvostruka regulacija fejdinga, priključak za zvučnicu, regulator boje tona i izlazni protufazni B-stupanj.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kojoj skupini prijemnika pripada opisani putni prijemnik? *Odgovor:* Skupini direktnih prijemnika s dva kruga i četiri elektronke. — *P.:* Zašto ovom putnom prijemniku nije potrebna vanjska antena? *O.:* On ima ugrađenu okvirnu antenu. — *P.:* Kako se može poboljšati prijem pomoću okvirne antene? *O.:* Umjesto jedne okvirne antene treba upotrijebiti dvije odijeljene: jednu za srednje, a drugu za duge valove. — *P.:* Koje to prednosti ima? *O.:* Ne mogu nastati gubici energije kratkospojenih ili isključenih zavoja okvirne antene. — *P.:* Kako se može povisiti izlazna snaga putnog prijemnika? *O.:* Primjenom protufaznog spoja u izlaznom stupnju. — *P.:* Koji spoj dolazi ovdje u obzir? *O.:* Protufazni B-spoj. — *P.:* Koje su elektronke za ovo najprikladnije? *O.:* Duotrioda KDD 1. — *P.:* U čemu su prednosti ove elektronke? *O.:* Prosječna anodna struja vrlo je malena. Osim toga za ove elektronke nije potreban poseban prednapon rešetke.

Automobilski prijemnik

335. — Posebnu skupinu p r e n o s i v i h baterijskih prijemnika čine *automobilski prijemnici,* dakle prijemnici ugrađeni u automobil ili u motorni čamac, a rade s akumulatorskim baterijama, koje inače služe za pokretanje motora. Upoznajmo prvo zahtjeve koji se postavljaju na automobilski prijemnik. Zbog nepovoljnih uvjeta za postavljanje antene mora automobilski prijemnik biti u prvom redu *vrlo osjetljiv,*

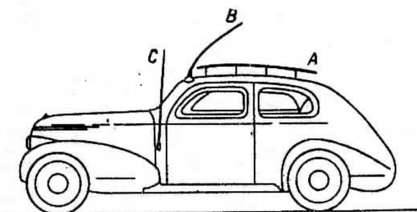
jer se s kratkom antenom u kolima može računati samo s vrlo malom e f e k t i v n o m visinom antene. Osim toga je još i jakost polja podložna velikim promjenama. Do toga dolazi u prvom redu već zbog prije opisane pojave fejdinga, a drugo zbog promjena prijemnih prilika pri prolazu kroz naseljena mjesta, šume, doline, usjeke, industrijske predjele itd., a naročito za vožnje ispod mostova, jer je u tom slučaju prijemna antena više ili manje oklopljena (zasjenjena). Automobilski prijemnik mora zbog toga imati vrlo *jaku regulaciju fejdinga* i *jakosti zvuka,* a osim toga *veliku selektivnost.* Ovi se osnovni zahtjevi mogu bez pretjeranih troškova ispuniti samo sa *super-prijemnikom.* Zbog toga se za automobilske prijemnika upotrebljava isključivo spoj super-prijemnika, kojeg je regulacija fejdinga primijenjena na što više elektronki. Najbolje prijemne rezultate daju, kao što smo vidjeli u odsjeku 251 i 254 elektronke č e l i č n e *E*-serije. Moderni automobilski prijemnici su radi toga snabdjeveni čeličnim elektronkama, dok su starij automobilski prijemnici radili s elektronkama starije E-serije ili F-serije. Nadalje mora izlazni stupanj automobilskog prijemnika davati dovoljnu *izlaznu snagu* bez izobličenja, da bi se nadglasila buka motora za vožnje, te da se izvedbe mogu slušati a da se ne napreže pažnja. U izlaznom stupnju dolazi za automobilski prijemnik u obzir u prvom redu duotrioda EDD 11 (izlazna snaga oko 4 W) u protufaznom B-spoju. Za veće zahtjeve može se upotrijebiti izlazna pentoda EL 12 (izlazna snaga oko 8 W).

336. — Kod automobilskog prijemnika treba najveću pažnju posvetiti i *zaštitnim mjerama protiv lokalnih smetnja.* Ovdje su smetnje mnogo nezgodnije nego kod običnog kućnog prijemnika. Dinamo, proces paljenja svjećica u cilindrima motora i vibrator mrežnog dijela prijemnika proizvode iskre, koje čine prijem nemogućim, ukoliko se ne provedu zaštitne mjere. Od prijemne antene se zbog toga traži da dobavlja što više korisne energije (energije odašiljača). To se može postići dobrim prilagođenjem antene na ulazni krug prijemnika. Osim toga treba dovod od prijemne antene do prijemnika, kao i sam prijemnik, metalnim oklopom brižljivo zaštititi, da bi se spriječilo prodiranje smenji direktno u ulazni krug. Zatim se ugradnjom *zaštitnih filtara u antenske i baterijske* priključke i blokiranjem iskrišta (kondenzator[70]) paralelno iskrištu) dinama, uređaja za paljenje svjećica i vibratora, sprečava nastajanje smtenji (usporedi odsjek 343).

337. — Posebnu pažnju nadalje zaslužuje *smještaj antene na automobilu.* O valjanosti automobilske antene ovisi u velikoj mjeri broj dobro i bez smetnja primanih stanica. Ima raznih oblika antena smje-

[70]) Takav paralelan kondenzator, nazvan i kondenzator za blokiranje, predstavlja za visokofrekventne, naročito za kratkovalne i ultrakratkovalne titraje, praktički kratak spoj.

štenih **ispod** ili **iznad automobila** (na primjer: antena utkana u prevlaku sjedala). U modernim automobilima s potpuno čeličnom karoserijom ne smije se antena smjestiti u unutarnjost kola, jer bi čeličnom karoserijom prijemna antena bila zasjenjena. Najpovoljnije je, kao što je iskustvo pokazalo, smjestiti makar i sasvim kratku, ali **vanjsku** antenu, sa strane ili povrh karoserije. Time ujedno dobivamo povoljan odnos između primane energije i energije vlastitih smetnji iz automobila. Tri različita primjera prikladne automobilske antene prikazana su na sl. 234. **Po sredini krova** izolirano pričvršćena antena prikazana je na slici pod *A*. Ako je ova antena lijepo savijena i dobro kromirana, neće biti njome nagrđena vanjština automobila. **Krovna štap-antena** pričvršćena direktno iznad prednjeg zaštitnog stakla prikazana je pod *B*, pa se može zahvatom iz unutarnjosti kola uspraviti, odnosno položiti po krovu. U mnogim se izvedbama može i ova antena razvlačiti. Efektivna visina Telefunkenova štap-antene iznosi na primjer u neizvučenom stanju oko 50 cm (za normalne okolnosti prijema), a u izvučenom stanju oko 90 cm (za primanje vrlo slabih stanica). Sa *C* je označena **postrana štap-antena**, koja se može montirati na svaki automobil. Ona se pričvršćuje o bok automobila, pa se također može izvlačiti (efektivna visina od 50 do 120 cm).



Sl. 234.

Ponavljanje

Automobilski prijemnik mora da bude vrlo osjetljiv, mora da ima vrlo jaku regulaciju fejdinga i jakosti zvuka, zatim veliku selektivnost i veliku izlaznu snagu. Ove uvjete najbolje ispunjava super-prijemnik. Osim toga treba se pobrinuti da **smetnje** proizvedene od iskrišta dinama, uređaja za paljenje svjećica, te vibratora, ne prodru u prijemnik. To se može postići savršenim oklapanjem dovoda antene i prijemnika, osobitim zaštitnim zaporima u antenskom priključku i priključcima baterije, te blokiranjem iskrišta. Antena mora dovoditi što jače signale odašiljača u omjeru prema energiji smetnji. Automobilske antene je najbolje smjestiti na krovu ili postrance, u obliku krovne ili štap-antene.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto automobilski prijemnik mora da bude vrlo osjetljiv? *Odgovor:* Zbog toga, što automobilska antena zbog svoje male efektivne visina prima tek malo energije od odašiljača. — *P.:* Što se traži od regulacije fejdinga i jakosti zvuka automobilskog prijemnika? *O.:* Da budu vrlo jaki, jer su prilike primanja za vrijeme vožnje vrlo promjenljive. — *P.:* Kada dolazi do najjačih takvih promjena? *O.:* Prigodom vožnje kroz naseljena mjesta, šume, doline, mostove itd. — *P.:* Zbog čega treba da je automobilski prijemnik snabdjeven po mogućnosti elektronkama od čelične E-serije? *O.:* Zato što su čelične elektronke mehanički vrlo čvrsto građene, a daju uz to najbolje rezultate u pojačanju i regulaciji fejdinga i jakosti zvuka. — *P.:* Koji se daljnji zahtjevi postavljaju na automobilski prijemnik? — *O.:* Velika izlazna snaga i mala mogućnost prodiranja lokalnih smetnji. — *P.:* Kako se može automobilski prijemnik zaštititi od smetnji? *O.:* Metalnim oklapanjem dovoda antene i oklapanjem cijelog prijemnika, zaporom protiv smetnji u antenskim i baterijskim priključcima, te blokiranjem svih iskrišta. — *P.:* Koje su najprikladnije automobilske antene? *O.:* Krovne antene i štap-antene na krovu ili na boku automobila.

Pitanja

159. Kakva je zadaća pogonskog stupnja za protufazni B-spoj?

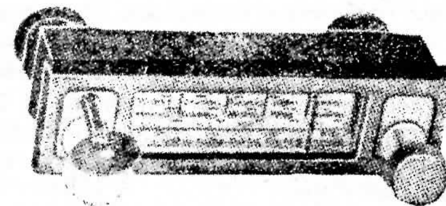
160. Zašto izlazna snaga automobilskog prijemnika ne smije biti premalena.

Zadaci

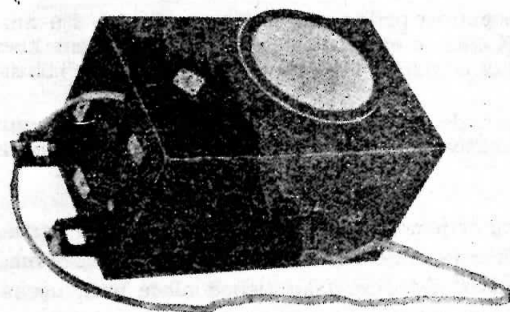
111. — Okvirna antena putnog prijemnika je 450 mm široka, 350 mm visoka, a ima 16 zavoja: a) Kolika je efektivna visina okvirne antene kod frekvencije od 1 MHz? b) Koji će napon biti induciran u anteni uz jakost polja od 100 μV?

112. — Kolika mora da bude jakost polja da se u antenskom krugu s automobilskom antenom efektivne visine 50 cm pojavi visokofrekventni napon od 30 μV?

338. — Od automobilskog prijemnika traži se također da mu je **ugađanje** lako. Sigurnost vožnje ne smije biti ni u kojem slučaju ugrožena. Kako se automobilski prijemnik najčešće nalazi ispod ploče pred upravljačem, ne mogu dugmeta za rukovanje prijemnikom biti smještena direktno na prijemniku, nego je potreban *daljinski pogon.* Na četvorouglatoj kutijici smještena su dugmeta za rukovanje i spojena gibljivim osovinama sa samim prijemnikom. Skala (s ispisanim stanicama) za ugađanje osvijetljena je tako da ne bliješti u oči (sl. 235). Pomoću dva dugmeta koja se mogu izvući, rukuje se na daljinu cijelim prijemnikom. Lijevim se dugmetom prijemnik ukapča i iskapča, te regulira jakost i boja zvuka. Desnim se dugmetom vrši prebacivanje valnih područja i ugađanje stanica. Osim toga se iznad lijevog dugmeta nalazi ključ kojim se može zakočiti ukapčanje, tako da prijemnik ne može staviti u pogon nepozvana osoba. U drugim je izvedbama daljinski pogon ugrađen u okruglu kutiju s okruglom skalom. Uređaj za daljinski pogon prijemnika može se smjestiti i u ploču pred upravljačem, a radi lakšeg rukovanja pričvršćuje se također na konstrukciju volana.

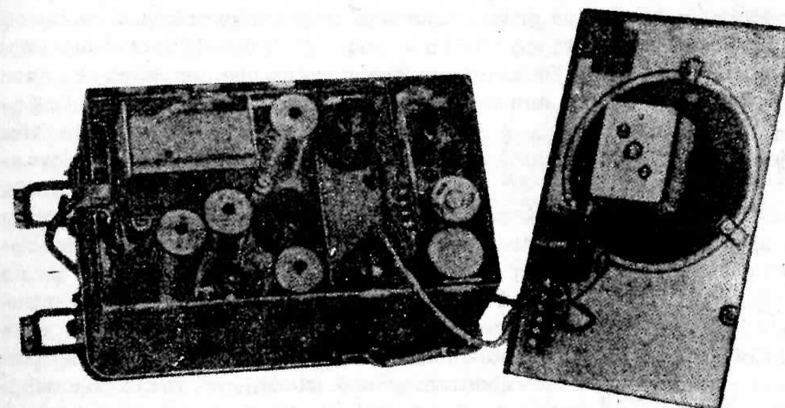

Sl. 235.

339. — Automobilski prijemnik mora da bude *malen*. Tako su na primjer dimenzije Telefunkenovog automobilskog prijemnika IA 39 (god. 1938-39) 275 mm × 135 mm × 170 mm. Oklopljeni kabeli vode do daljinskog pogona prikazanog na sl. 236. To je super-prijemnik sa *sedam krugova i šest elektronki*, građen za priključak na šest-voltni i dvanaest-voltni akumulator. Osnovni spoj prijemnika je ovaj: Ulazni krug priključen je na regulacionu pentodu EF 11, koja radi kao *regulirano visokofrekventno pretpojačalo*. U anodnom krugu nalazi se titrajni krug. Iza toga slijedi trioda-heksoda ECH 11 kao *regulirani stupanj za miješanje* (slično kao na sl. 210 i 215). U krugu rešetke i anode u *međufrekventnom* nereguliranom *stupnju* s pentodom EF 11 nalaze se međufrekventni pojasni filtri. Na ovaj se nadovezuje duodioda-trioda EBC 11, koja radi kao *demodulator* (uključivši proizvođenje napona za regulaciju) i kao *niskofrekventno pretpojačalo*. *Izlazni stupanj* izveden je s duotriodom EDD 11 u protufaznom B-spoju (vidi odsjek 335). U *mrežnom dijelu* upotrijebljena je ispravljačica EZ 11. U odsjeku 343. opisat ćemo pobliže mrežni dio automobilskog prijemnika. Na sl. 237. vidi se unutarnjost Telefunkenovog automobilskog prijemnika IA 39. Na skinutom gornjem dijelu (na sl. desno) nalazi se dinamički zvučnik s izlaznim transformatorom. Lijevo u prijemniku vidimo čelične elektronke EF 11 i ECH 11, u sredini međufrekventno pojačalo EF 11, koso nasuprot elektronku EBC 11 i EDD 11. Lijevo gore vidi se trostruki oklopljeni kondenzator, a ispod i pokraj njega se nalaze ulazni i oscilatorski krugovi i međufrekventni pojasni filtar. U desni odijeljeni dio prijemnika ugrađen je mrežni dio. Gore se nalazi dvotaktna ispravljačica EZ 11, a ispod nje oklopljen vibrator.



Sl. 236.

340. — Automobilski prijemnik najčešće se *ugrađuje* ispod ploče pred upravljačem ili u njezinoj blizini na odgovarajućem mjestu. Ako je zvučnik ugrađen u prijemnik, onda ne smije biti postavljen suviše nisko. Automobilski prijemnik prikazan na sl. 326. može se također, kao i drugi automobilski prijemnici, dobiti s o d v o j e n i m zvučnikom. U tom slučaju treba zvučnik smjestiti na akustički povoljno mjesto u kolima. Često se predviđa i priključak d r u g o g zvučnika, tako da taj zvučnik može raditi i preko slobodnog voda u s l o b o d n o m p r o s t o r u izvan automobila, na primjer prigodom izleta. Mnogi automobilski prijemnici snabdjeveni su i priključnicama za priključak električke zvučnice i mikrofona, što može dobro poslužiti u putnim autobusima, izletničkim parobrodima i sličnim vozilima.



Sl. 237.

Ponavljanje

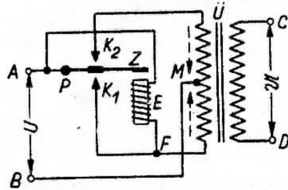
Rukovanje automobilskim prijemnikom vrši se daljinskim pogonom, koji ima dugmad vezanu gibljivim osovinama s prijemnikom. Naprava za daljinski pogon može se pričvrstiti na ploču pred upravljačem ili na samu konstrukciju volana. Automobilski prijemnici treba da su vrlo maleni; kako bi se mogli u automobilu lako smjestiti. Zvučnik je često ugrađen u sam prijemnik, iako je akustički povoljnije da je odvojen. Mogućnost priključka električke zvučnice i mikrofona čini upotrebu automobilskog prijemnika još svestranijom.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se rukuje automobilskim prijemnikom? *Odgovor:* Pomoću daljinskog pogona. — *P.:* Kako djeluje daljinski pogon? *O.:* U posebnoj kutiji nalazi se skala za ugađanje i potrebna dugmad, koja je u vezi s prijemnikom preko gibljivih osovina. — *P.:* Na što se pričvršćuje daljinski pogon? *O.:* Na ploču pred upravljačem ili na konstrukciju volana. — *P.:* Čime se odlikuju automobilski prijemnici? *O.:* Savršenim metalnim oklapanjem i malenim dimenzijama. — *P.:* Gdje se nalazi zvučnik automobilskog prijemnika? *O.:* Zvučnik je ugrađen ili u sam prijemnik ili je upotrijebljen odvojen zvučnik. — *P.:* Koje su prednosti posljednjeg načina? *O.:* Zvučnik se može u kolima smjestiti na akustički najpovoljnijem mjestu, a može se upotrebljavati i izvan automobila. — *P.:* Čime se još može proširiti upotrebljivost automobilskog prijemnika? — *O.:* Time da se može priključiti električka zvučnica i mikrofon.

Vibrator

341. — Struja žarenja može se za automobilske prijemnike bez daljnjega uzimati iz 6-voltnog ili 12-voltnog akumulatora, koji inače služi za pokretanje motora. Za anodne napone, odnosno za napone druge rešetke, mora da bude na raspolaganju istosmjerni napon od 250 V. Da se on dobije, potrebno je prvo istosmjerni napon akumulatora pretvoriti pomoću *vibratora* u izmjenični napon. Tako dobiven izmjenični napon transformira se pomoću transformatora na viši napon, pa se nakon toga ispravlja. Za automobilske prijemnike dolazi u obzir niskonaponski vibrator, a za prijemnike za priključak na mrežu istosmjerne struje i univerzalne prijemnike visokonaponski vibrator. Vibrator se sastoji od prekidača, transformatora i zaštitnog filtra protiv smetnji. Na sl. 238. prikazan je spoj protufaznog vibratora bez zaštitnog uređaja protiv smetnji. Prekidač se sastoji od elektromagneta *E* sa željeznom jezgrom, elastičnog titrajnog pera *Z* učvršćenog u tački *P* i dva kontakta K_1 i K_2. U položaju mirovanja leži pero u sredini između kontakta K_1 i K_2, dakle ne dodiruje ih. Priključi li se istosmjerni napon na priključnice *A* i *B*, poteći će kroz elektromagnet *E* istosmjerna struja (tok struje *A—E—M—B—A*). Pero *Z* bit će privučeno i kontakt K_1 zatvoren. U tom trenutku poteći će kroz donju polovicu primarnog namotaja transformatora *Ü* s odvojkom u sredini *M* istosmjerna struja (tok struje *A—P—*K_1*—M—B—A*). Istodobno će namotaj magneta tako stvorenim spojem preko *P—*K_1*—F* biti kratko spojen, tako da na pero Z više neće djelovati privlačna sila magneta, pa će uslijed svog elasticiteta preći iz spojnog položaja K_1 preko položaja mirovanja, u spojni položaj K_2. Sada će kroz gornju polovicu primarnog namotaja transformatora istosmjerna struja (tok struje *A—P—*K_2*—M—B—A*), koja ima s obzirom na odvojak *M* protivan smjer onome otprije (crtkana strelica), pa će pero *Z* preći opet iz spojnog položaja K_2 prema K_1; na taj će se način igra neprestano ponavljati.

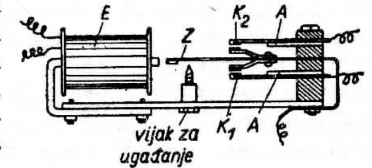


Sl. 238.

342. — Prekidač služi prema tome za periodično prekidanje istosmjerne struje. Kako se ovi prekidi struje odigravaju vrlo brzo (otprilike u 1/200 sekunde), tako nastali udarci istosmjerne struje u primarnom namotaju transformatora *Ü* induciraju po pravilu indukcije na priključnicama *C* i *D* sekundarnog namotaja transformatora izmjenični napon $U_{\sim}$. Frekvencija ove izmjenične struje iznosi otprilike 100 Hz (odgovara broju prekida 200) i dvaput je veća od uobičajene frekvencije rasvjetne mreže.[71] Stupanj iskoristivosti prekidača može se povisiti

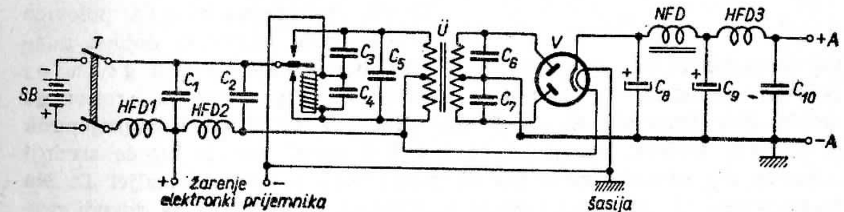
[71]) Na višoj frekvenciji može biti masa kotve, odnosno sila pera titrajnog jezička, manja. To ima konstruktivne prednosti.

na 75%, ako se i kontakti K_1 i K_2 izvedu elastično (sl. 239). U tom slučaju naime neće biti titrajni jezičak *Z* prigodom dodira s kontaktom K_1, odnosno K_2, smjesta zaustavljen, nego će se kontakti micati zajedno još neko vrijeme do konačnog svog vanjskog položaja, a još i neko vrijeme prigodom vraćanja (dugo vrijeme dodira!). Nakon toga zadržat će se spojni kontakti na čvrstim pridržačima, dok će titrajni jezik postići sada svoju najveću brzinu. Na taj se način kontakti brzo prekidaju, tako da se i iskre prigodom prekida vrlo brzo prekidaju. Time se ublažuje izgaranje spojnih kontakata, a trajnost prekidača produžuje. Vrijeme prekida čvrstih spojnih kontakata je duže, a isto tako i trajanje iskre prekida, jer se jezik prigodom napuštanja kontakata miče vrlo polagano. Dobri prekidači ugrađeni su zbog čuvanja kontakata u posudu napunjenu vodikom. Time se sprečava oksidacija kontakata, pa se uslijed velike toplinske vodljivosti vodika postizava rad gotovo bez iskrenja. Vlastiti šum vibratora može se ublažiti elastičnim zavješenjem, prigušenjem sa spužvastom gumom i smještanjem u metalnu kutiju.



Sl. 239.

343. — Na sl. 240. prikazan je primjer spoja *ispravljačkog dijela nekog automobilskog prijemnika*. Vibrator s prekidačem priključen je preko dvopolne sklopke *T* na akumulatorsku bateriju *SB* (usporedi sl. 238).

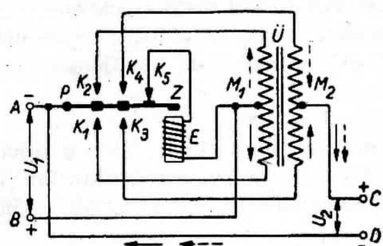


Sl. 240.

Izmjenični napon (na primjer 2×250 V) dovodi se dvotaktnoj ispravljačici *V* (EZ 1 ili EZ 11); $C_8 = 8\,\mu F$ je ulazni kondenzator, a $C_9 = 8\,\mu F$ i *NFD* = 20 H čine niskofrekventni zaporni spoj. Ostali kondenzatori i visokofrekventne prigušnice čine zaštitne filtre za odstranjivanje visokofrekventnih smetnji vibratora (vidi odsjek 341). Visokofrekventne prigušnice *HFD 1* i *HFD 2* čine zajedno s kondenzatorima $C_1 = C_2 = 25\,\mu F$ (bipolarni elektrolitski kondenzatori, vidi dio I, odsjek 60) zaporni filtar protiv prodiranja visokofrekventnih smetnji od prekidača u priključak do prijemnih elektronki (usporedi odsjek 336). Analogno zaštitni filtar *HFD 3* — $C_{10} = 5\,000$ pF sprečava prodiranje smetnji u anodni krug.

Kondenzatorima $C_3 = C_4 = 4\,\mu F$ prigušuju se iskre otvaranja i time proizvedeni visokofrekventni titraji (vidi opasku na str. 315). Kondenzatori $C_5 = 1\,000$ pF i $C_6 = C_7 = 50\,000$ pF ublažuju naponske vrške uzrokovane prekidanjem kontaktnog spoja. S priključnica $+A$ i $-A$ uzima se istosmjerni napon za pogon prijemnika.

344. — Za automobilske prijemnike upotrebljava se i takozvani *sinhroni vibrator,* koji ne radi samo kao p r e k i d a č, nego istodobno i kao i s p r a v l j a č, te se tako ušteđuje ispravljačica. Titrajni jezičak Z pokretan oko tačke P sinhronog vibratora (sl. 241) ima pet elastičnih spojnih kontakata. Ako se na priključnice A i B priključi istosmjerni napon U_1 baterije, uzbudit će se elektromagnet E (tok struje B—E—K_5—P—A—B) i privući će titrajni jezičak. Uslijed toga se zatvaraju kontakti K_1 i K_3, pa će kroz donju polovicu primarnog namotaja transformatora poteći kratkotrajna istosmjerna struja (tok struje B—M_1—K_1—P—A—B). Ova struja inducira u d o n j o j polovici sekundarnog namotaja struju protivnog smjera (tok struje M_2—C—D—P—K_3—M_2). Budući da d o n j a polovica sekundarnog namotaja transformatora $Ü$ za prijemnik priključen na stezaljke C i D djeluje kao generator, to je srednji odvojak transformatora M_2, odnosno stezaljka C, p o z i t i v a n prema stezaljki D. Nakon što jezičak bude privučen, otvorit će se ponovno kontaktni spoj K_5. Jezičak Z pojurit će kroz položaj mirovanja, pa će se sada spojiti kontakti K_2 i K_4. U tom trenutku g o r n j a polovica sekundarnog namotaja dobiva udarac istosmjerne struje (tok struje B—M_1—K_2—P—A—B), pa u g o r n j o j polovici sekundarnog namotaja nastaje inducirana struja protivnoga smjera (tok struje M_2—C—D—P—K_4—M_2). Ova struja teče kroz prijemnik u i s t o m smjeru kao prije, to jest i u ovom slučaju bit će srednji odvojak M_2, odnosno stezaljka C, p o z i t i v n a prema stezaljci D. Na stezaljkama C i D imamo dakle pulsirajuću struju, koja se dovodi prijemniku preko prigušnog filtarskog spoja (kao na sl. 240 desno). Pri slijedećem naglom povratku jezička Z otvorit će se i opet kontaktno mjesto K_5, pa će elektromagnet i opet biti uzbuđen. Tako se taj proces ponavlja.



Sl. 241.

Ponavljanje

Niski se istosmjerni napon akumulatorske baterije može pomoću v i b r a t o r a pretvoriti u visoki izmjenični napon. Vibrator se sastoji od prekidača, transformatora i zaštitnog filtra. Glavni sastavni dijelovi prekidača su elektromagnet, titrajni jezičak i više spojnih kontakata. Izmjenični napon dobiven iz vibratora može se pretvoriti u istosmjerni napon pomoću obične ispravljačice, te upotrijebiti za pogon anoda i zaštitnih rešetki automobilskog prijemnika. Stupanj iskoristivosti vibratora može se znatno povisiti ugradnjom e l a s t i č n i h kontakata, a izdržljivost i trajnost ugradnjom prekidača u balon napunjen vodikom. S i n h r o n i m vibratorima nije potrebna posebna ispravljačica, jer se ispravljanje izmjenične struje vrši također prekidačem.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je vibrator? *Odgovor:* Naprava za pretvaranje istosmjernog napona u izmjenični. — *P.:* Od čega se sastoji vibrator? *O.:* Od prekidača, transformatora i zaštitnog filtra protiv smetnji. — *P.:* Koji je zadatak prekidača? *O.:* On periodično prekida istosmjerni napon. — *P.:* Što se time postizava? *O.:* U primarnom namotaju transformatora nastaju udarci istosmjerne struje, te se u sekundarnom namotaju javlja izmjenična struja. — *P.:* Što se dalje radi s tom izmjeničnom strujom? *O.:* Ispravlja se pomoću ispravljačice. — *P.:* Koje su prednosti ugradnje prekidača u balon napunjen vodikom? *O.:* Sprečava se oksidacija kontakata i postizava rad gotovo bez iskrenja. Time se produžuje trajanje prekidača. — *P.:* Koja je prednost sinhronog vibratora? *O.:* Sinhroni vibrator ne proizvodi izmjeničnu struju, nego pulsirajuću struju, pa time otpada upotreba ispravljačice.

Pitanja

161. Može li se na sl. 221. prikazani super-prijemnik s čeličnim elektronkama upotrijebiti za automobilski prijemnik?

162. Kakva je razlika između ispravljača i vibratora?

Zadaci

113. Vibrator automobilskog prijemnika prema sl. 240. radi s akumulatorskom baterijom napona 6 V. Faktor oblika izmjeničnog napona (u obliku trapeza) kojeg dobavlja vibrator, iznosi 1,25: a) Kolika je u najpovoljnijem slučaju efektivna vrijednost izmjeničnog napona, ako je prijenosni odnos transformatora 1 : 1? b) Koliki mora da bude prijenosni odnos, ako izmjenični napon treba da bude $2 \times 240\ V_{ef}$, bez obzira na gubitke?

VIII. Prijemnici za kratke valove

Općenito o prijemu kratkih valova

345. — Pomoću *kratkih valova,* dakle s valnim dužinama između 100 i 10 m, mogu se uz istu snagu odašiljača premostiti mnogo veće udaljenosti nego pomoću srednjih i dugih valova. Danas nije više rijetkost da se s. jednostavnim prijemnikom samo sa tri elektronske slušaju u Evropi jake prekomorske stanice na kratkim valovima. Kratkovalnim amaterima uspijeva pomoću jednostavnih kratkovalnih odašiljača od samo nekoliko vata izlazne snage sporazumijevati se na udaljenosti od mnogo tisuća kilometara. Objašnjenje za ovu čudnu pojavu dali smo već u dijelu I, odsjecima 159. i 160.: Kratki se valovi potsepeno savijaju kroz Heaviside-Kenellyjev sloj i tek tada se vraćaju na zemlju. Ovo vrijedi dakako samo za prostorne valove, dok površinski valovi kod kratkog vala mnogo brže oslabe uslijed kuća, šuma, bregova itd., nego kod srednjeg i dugog vala (vidi dio I, odsjeke 154 i 155). Uslijed toga dolazi kod kratkih valova do *jakih bližih fejdinga.* Iza mrtve zone u većoj udaljenosti omogućuju prostorni valovi i opet dobar prijem. Na kratkim valovima dolazi, također kao i kod ostalih valova, i do *dalekog fejdinga* (vidi dio I, odsjek 158). Promjene jakosti zvuka nastaju kod kratkog vala često u vrlo kratkim vremenskim razmacima. Može se dogoditi da pojave fejdinga nastupe sasvim iznenada, a i da prijem uopće izostane za vrijeme od nekoliko minuta, ili čak nekoliko sati. Ova pojava, zapažena prvi puta godine 1927. i nazvana *kratkim fejdingom (erupcioni* ili *Dellingerov efekt)* nastaje samo onda, kad se odašiljač i prijemnik nalaze na suncem osvijetljenoj Zemljinoj polutci (prijem po danu). Kako se kratki fejding periodički ponavlja u vremenskim razmacima od 54 dana, može se nastajanje kratkog fejdinga dovesti u vezu s periodičnim erupcijama Sunca, jer vremenski razmak od 54 dana odgovara trajanju dvaju Sunčevih obrta oko osi. Dosadašnja zapažanja ne daju još pouzdano tumačenje o nastajanju krtkog fejdinga. Očito je da je ova pojava u vezi i s poremećajima zemaljskog magnetizma.

346. — Veliki domet na kratkim valovima ne može se postići baš u svako doba i na svakoj valnoj dužini. To ovisi o promjenama u Heaviside-Kenellyjevu sloju (vidi dio I, odsjek 158). Prema tome je potrebno obzirom na siguran promet na kratkim valovima prilagoditi dužinu vala dobu dana (vidi dio I, odsjek 160). Osim toga prednost kratkih valova je i ta, što atmosferske smetnje dolaze to manje do izražaja, što

je val kraći. Nadalje se može na području kratkih valova smjestiti mnogo više odašiljača, nego na području srednjih i dugih valova, jer je širina pojasa kratkovalnih radio-difuznih odašiljača u odnosu prema visokoj prijenosnoj frekvenciji (mnogo MHz) vrlo malena (vidi dio I, odsjek 204). Inače ne bi bilo moguće postići ni to da amateri imaju više djelomičnih (amaterskih) valnih područja za telegrafske pokusne odašiljače.

Ponavljanje

K r a t k i m v a l o v i m a mogu se i uz malu snagu odašiljača premostiti velike udaljenosti, jer se prostorni valovi šire unutar Heaviside-Kenellyjeva sloja daleko i tek tada savijaju i vraćaju na Zemlju. Kratki valovi su izloženi j a k o m b l i z o m f e j d i n g u. Iza m r t v e z o n e dolazi opet područje dobrog prijema. Kod d a l e k o g f e j d i n g a može se zapaziti i časovito potpuno izostajanje prijema (k r a t k i f e j d i n g ili e r u p c i o n i, odnosno D e l l i n g e r o v efekt). Kako se kratki fejding pojavljuje u redovitim vremenskim razmacima od 54 dana, njegov uzrok vjerojatno leži u sunčanim mrljama za vrijeme erupcija. Ako se valna dužina kratkovalnog odašiljača prilagodi dobu dana, moguć je siguran promet sa svim dijelovima svijeta. Na kratkovalnom području može biti istodobno u pogonu mnogo odašiljača, tako da su čak stanovita područja posebno određena za pokusne emisije kratkovalnih amatera.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja je osobita prednost kratkih valova? *Odgovor:* Kratkim valovima mogu se i uz vrlo malu energiju odašiljača premostiti vrlo velike udaljenosti. — *P.:* Kako je to moguće? *O.:* Kratki valovi šire se unutar Heaviside-Kenellyjeva sloja na velike udaljnosti, pa se tek nakon toga vraćaju na Zemlju. — *P.:* Koja je mana kratkih valova? *O.:* Ovisni su o jakim fejdinzima. — *P.:* U kojoj udaljenosti imamo i opet dobar prijem kratkih valova? *O.:* Iza mrtve zone. — *P.:* Zašto ne rade svi razglasni odašiljači na kratkim valovima? *O.:* Zbog toga što zona fejdinga počinje suviše blizu odašiljača. — *P.:* Javljaju li se fejdinzi kod kratkovalnih stanica i iza mrtve zone? *O.:* Da, ali to je takzvani daleki fejding. — *P.:* Što je u tom slučaju osobito vrijedno uočiti? *O.:* Prijem kratkih valova može neko vrijeme i potpuno izostati. — *P.:* Kako se naziva ova pojava? *O.:* Kratki fejding ili erupcioni, odnosno Dellingerov efekt. — *P.:* Koju osobitost pokazuje kratki fejding? *O.:* Javlja se periodično svaka 54 dana. — *P.:* Što se iz toga može zaključiti? *O.:* Kratki fejding ovisi vjerojatno o erupcijama Sunca. — *P.:* Koje su daljnje prednosti kratkih valova? *O.:* Oni u načelu ne podliježu tako jako atmosferskim smetnjama, kao ostali radio-valovi. Osim toga može se na području kratkih valova smjestiti mnogo više odašiljača nego na području srednjih i dugih valova.

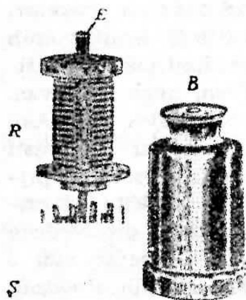
347. — Prije nego što prijeđemo na opisivanje najvažnijih spojeva prijemnika za kratke valove, moramo se pozabaviti s nekoliko tehničkih podataka, koji se moraju uzeti u obzir pri gradnji ovakvih prijemnika. Iako su mnogi veliki prijemnici građeni osim za primanje srednjih i dugih valova i za primanje najvažnijih kratkovalnih radio-difuznih odašiljača (tefefonskih; usporedi na primjer odsjeke 303 i 307), ipak se na

specijalne kratkovalne prijemnike, a pogotovo na prijemnike kratkovalnih amatera, postavljaju posebni zahtjevi. S običnim radio-aparatima možemo slušati samo *tonski modulirane* kratkovalne stanice, to jest odašiljače, kojih je visokofrekventni prijenosni val m o d u l i r a n govorom, muzikom ili Morseovim znakovima. Pokusni odašiljači kratkovalnih amatera rade redovito s *nemoduliranom telegrafijom.* Kod takvog odašiljanja n i j e visokofrekventni prijenosni val moduliran, nego otipkavan, dakle u ritmu Morseovih znakova p r e k i d a n (vidi odsjek 392). Ako se želi primati takav odašiljač, mora se u p r i j e m n i k u proizvesti čujni ton. U direktnom prijemniku može se ovo izvesti tako da se primanoj frekvenciji doda p o m o ć n a f r e k v e n c i j a različita od primane za $\pm$ 500 do 2 000 Hz (najčešće oko 1 000 Hz), i to proizvedena na primjer u audionu (usporedi također odsjek 356). Ovdje se radi o sličnoj pojavi kao u slučaju zviždanja od reakcije kod običnih direktnih prijemnika. Kod super-prijemnika mora se za primanje n e m o d u l i r a n e telegrafije upotrijebiti drugi oscilator (vidi odsjek 364). Frekvencija ovog oscilatora treba da je različita za $\pm$ 500 do 2 000 Hz od frekvencije međufrekvencije.

348. — U kratkovalnim prijemnicima mogu se upotrijebiti iste e l e k t r o n k e kao i u običnim prijemnicima. Osobito su prikladne elektronke č e l i č n e serije, na što smo već upozorili u odsjecima 254, 283. i 291. Na valnim dužinama ispod 20 m već se neugodno zapaža *vrijeme putovanja elektrona.* Pod tim pojmom mislimo na vrijeme koje je potrebno da elektroni prijeđu od katode do rešetke, odnosno od katode do anode. Ako vrijeme putovanja elektrona nije dovoljno kratko prema vremenu jednog visokofrekventnog titraja, neće se anodna struja mijenjati posve istodobno (sinhrono) s naponom uzbudne rešetke, nego s malenim zakašnjenjem. Između ostaloga, posljedica toga je također smanjenje faktora pojačanja s porastom frekvencije. Također ćemo se sjetiti da i š t e t n i k a p a c i t e t i s porastom frekvencije djeluju vrlo nepovoljno na prilike primanja (usporedi na primjer odsjeke 193 i 197). Najbolji se uspjesi mogu postići s malenim elektronkama, kao što su T e l e f u n k e n o v e e l e k t r o n k e *SD1A* (trioda), *SF1A* (pentoda). Te malene elektronke ukupne visine od samih 57 mm osobito su prikladne za prenosive kratkovalne prijemnike. Naročito malen kapacitet među elektrodama i kratko vrijeme putovanja elektrona omogućuje s elektronkama *SF1A* dobar rad do područja ultrakrakih valova od 1 m. Za i s p r a v l j a č i c e mogu se u kratkovalnim i u prenosivim prijemnicima upotrijebiti isti tipovi kao i inače.

349. — Kod prijemnika na kratkom valu mora se, zbog vrlo visokih frekvencija, na s m a n j i v a n j e g u b i t a k a u materijalu pojedinih dijelova paziti više nego inače. Za izolacioni materijal dolazi ovdje u obzir keramika kao frekventa, kalan, kalit, amanit itd. (vidi dio I, odsjek 45). Time se postizava i veća neovisnost o promjenama temperature i vlage. P r o m j e n l j i v i k o n d e n z a t o r i za

ugađanje moraju biti izvedeni osobito pažljivo. To vrijedi naročito za dovod struje do rotora, jer na tom mjestu mogu lako nastati smetnje koje se čuju kao »grebenje«. Da se dobije što veći rezonantni otpor $\mathfrak{R}_0$ titrajnog kruga, ne smije kapacitet C titrajnog kruga biti prevelik, jer prema jednadžbi $\mathfrak{R}_0 = L/(CR)$ (vidi dio I, jedn. 56) rezonantni otpor opada s kapacitetom. Isto vrijedi i za radni otpor R. Zavojnice se grade od bakrene žice 0,3 do 0,5 mm promjera[72]). Da rasipno polje ne bi bilo preveliko, ne smije promjer tijela za namatanje zavojnice biti veći od 30 mm. Za kratki val osobito su prikladne na primjer *utične zavojnice* (sl. 242) sa osampolnim nožištem S, koje pristaje u odgovarajuće podnožje. Tijelo za namatanje, preko kojeg se može nataknuti zaštitna kapa B, ima odgovarajuće utore za žicu, tako da se mogu primijeniti različiti načini namatanja. Osim toga se u tijelu za namatanje nalazi pomična visokofrekventna jezgra E koja služi za izjednačenje induktiviteta. Time se znatno olakšava gradnja velikih prijemnika za kratke valove.



Sl. 242.

Ponavljanje

Pomoću običnih koncertnih prijemnika mogu se doduše primati i kratkovalni t e l e f o n s k i odašiljači, no ne mogu se primati n e m o d u l i r a n i telegrafski odašiljači kratkovalnih amatera. Ako se želi primati i ove odašiljače, onda treba primanoj frekvenciji dodati pomoćnu frekvenciju različitu od one prve za ± 500 do 2 000 Hz. Prijemnici za kratki val rade s istim elektronkama kao i obični prijemnici. Čelične elektronke daju i ovdje najbolje rezultate. Kod valnih dužina ispod 20 m zapaža se već neugodno v r i j e m e p u t o v a n j a e l e k t r o n a. Ako vrijeme putovanja elektrona dolazi u red veličine trajanja jednog visokofrekventnog titraja, onda se anodna struja više ne mijenja istodobno s naponom uzbudne rešetke. Telefunkenove male elektronke *SD 1 A* i *SF 1 A* osobito su malih dimenzija, malenih međuelektrodnih kapaciteta i kratkog vremena putovanja elektrona, tako da se mogu s uspjehom upotrijebiti i na području ultrakratkih valova. Kod prijemnika na kratkom valu treba osobito paziti da faktor gubitaka upotrijebljenog izolacionog materijala bude malen. Nadalje ne smije biti prevelik ukupni kapacitet, ni radni otpor titrajnog kruga, kako bi se postigla što veća vrijednost rezonantnog otpora. Promjer zavojnica ne smije biti veći od 30 mm, a debljina žice, kojom je namotana zavojnica, treba da je oko 0,3 do 0,5 mm.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto se nemodulirana telegrafija ne može bez daljnjega primati običnim prijemnicima? *Odgovor:* Zato što visokofrekventni titraji prijenosnog vala nisu tonski modulirani, nego su u ritmu Morseovih znakova prekidani. — *P.:* Koje je mjere potrebno poduzeti da se nemodulirana telegrafija učini čujnom? *O.:* Primanoj frekvenciji treba dodati pomoćnu frekvenciju različitu od one prve za ± 500 do 2 000 Hz. — *P.:* Koje se elektronke upotrebljavaju u kratkovalnim prijemnicima? *O.:* Sve obične elektronke, a osobito čelične elektronke. — *P.:* Do koje se valne dužine mogu ove elektronke još s uspjehom primijeniti? *O.:* Do valne dužine od 20 m. — *P.:* Do koje pojave dolazi na još kraćim valnim dužinama? *O.:* Vrijeme putovanja elektrona nije više maleno prema vremenu titranja jednog visokofrekventnog titraja primanog vala. — *P.:* Zašto je to štetno? *O.:* Opada faktor pojačanja, budući da se anodna struja ne može više mijenjati istodobno s promjenom napona na uzbudnaj rešetki. — *P.:* Koje se elektronke mogu s uspjehom upotrijebiti i za primanje ultrakratkih valova? *O.:* Telefunkenove malene elektronke *SD 1 A* i *SF 1 A*. — *P.:* Koji se zahtjevi postavljaju na izolacioni materijal u prijemniku kratkih valova? *O.:* Malen faktor gubitaka i što manja ovisnost o promjenama temperature i vlage. — *P.:* Koji izolacioni materijali ispunjavaju ove uvjete? *O.:* Na primjer keramički materijali, kalit, kalan, frekventa, amenit itd. — *P.:* Kako treba da je građena zavojnica za kratke valove? *O.:* Promjer zavojnice ne treba da je veći od 30 mm, a debljina žice treba da je 0,3 do 0,5 mm. — *P.:* Kako se može postići velik rezonantni otpor titrajnog kruga? *O.:* Gradnjom s malo gubitaka, sa što manjim ukupnim kapacitetima i sa što manjim radnim otporom zavojnice.

72) Upotreba visokofrekventne pletice za valne dužine ispod 60 m više se ne preporučuje.

Pitanja

163. Što je nemodulirana telegrafija?
164. Što razumijevamo pod vremenom putovanja elektrona?
165. Koja glavna svojstva moraju da imaju elektronke koje se mogu upotrijebiti za primanje vrlo kratkih valova?

Zadaci

114. Kratkovalna zračna zavojnica ima 10 zavoja, promjer zavojnice je 30 mm, a dužina namotaja 6 mm: a) Koliki je induktivitet? b) Koje se područje frekvencija, odnosno područje valnih dužina, može s ovom zavojnicom obuhvatiti uz promjenljivi kondenzator od 25 pF do 62,5 pF?

115. Direktnim prijemnikom treba primati nemoduliranu telegrafiju na valnoj dužini od 42 m: Koju pomoćnu frekvenciju treba dodati primanoj frekvenciji, da bi čujna frekvencija primanih Morseovih znakova bila 1 kHz?

Ugađanje prijemnika za kratke valove

350. — *Ugađanje prijemnika za kratke valove* ne može se bez daljnjega vršiti pomoću promjenljivog kondenzatora od 550 pF, jer bi time obuhvaćeno područje frekvencija bilo preveliko. Na svaki stupanj skale otpao bi naime vrlo širok pojas frekvencija, tako da bi jedva uspjelo tačnije ugađanje na neku određenu frekvenciju. U p o d r u č j u s r e d n j i h v a l o v a obuhvaća promjenljivi kondenzator za ugađanje frekvencije od 1 500 do 500 kHz, to jest ukupno 1 000 kHz ili 1 MHz. Prema tome na svaki stupanj skale sa 100 stupnjeva otpada područje frekvencija od 10 kHz, dakle otprilike po jedan odašiljač (usporedi dio I, odsjek 204). No k r a t k o v a l n o p o d r u č j e na primjer od 15 do 5 MHz (20 do 60 m) obuhvaća područje frekvencija od 10 MHz. Treba li

ovo obuhvatiti jednim jedinim titrajnim krugom, na jedan će stupanj skale otpasti prosječno 100 kHz. Uz međusobni razmak od 10 kHz otpalo bi na jedan stupanj skale po 10 odašiljača. Odatle jasno slijedi da će čak i s vrlo finim pogonom kondenzatora biti pri ugađanju dosta teškoća. Zbog toga smo prisiljeni da smanjimo krajnji kapacitet kondenzatora, te da se zadovoljimo i s manjim područjem frekvencija. To je lako moguće izvesti, budući da kratkovalno područje nije jednoliko zaposjednuto radio-difuznim odašiljačima kao srednjevalno područje. Kratkovalni odašiljači rade naime na *određenim pojasevima frekvencija*, koji su raspoređeni ovako:

Pojasevi frekvencija kratkovalnih radio-difuznih odašiljača

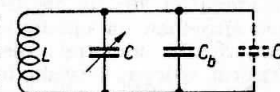
49 m - pojas:	49.83 do 48.86 m	ili	6.020 do 6.140 MHz	(12 odašiljača)
	44.98 i 32.88 m	ili	6.670 i 9.125 MHz	(2 odašiljača)
31 m - pojas:	31.70 do 31.02 m	ili	9.465 do 9.670 MHz	(24 odašiljača)
	30.96 do 26.01 m	ili	9.690 do 11.535 MHz	(12 odašiljača)
25 m - pojas:	25.63 do 25.03 m	ili	11.705 do 11.985 MHz	(19 odašiljača)
	24.52 do 20.64 m	ili	12.235 do 14.535 MHz	(3 odašiljača)
19 m - pojas:	19.85 do 19.52 m	ili	15.110 do 15.370 MHz	(26 odašiljača)
16 m - pojas:	16.89 do 15.77 m	ili	17.760 do 19.020 MHz	(9 odašiljača)
	13.986 do 13,928 m	ili	21,450 do 21.540 MHz	(6 odašiljača)

Područja frekvencija pokusnih odašiljača kratkovalnih amatera

160 m - pojas:	174.90 do 150.00 m	ili	1.715 do 2.000 MHz
80 m - pojas:	85.71 do 75.00 m	ili	3.500 do 4.000 MHz
40 m - pojas:	42.86 do 41.10 m	ili	7.000 do 7.300 MHz
20 m - pojas:	21.43 do 20.83 m	ili	14.000 do 14.400 MHz
10 m - pojas:	10.71 do 10.00 m	ili	28.000 do 30.000 MHz

351. — Smanjenje krajnjeg kapaciteta promjenljivog kondenzatora za ugađanje može se izvesti, kao što je rečeno u odsjeku 303. sa s e r i j s k i m d o d a v a n j e m fiksnog kondenzatora (»kondenzator za skraćivanje«). Taj se postupak često primjenjuje za obične prijemnike, da bi se olakšalo ugađanje na području kratkih valova. Za kvalitativne prijemnike za kratke valove dolazi u obzir samo *ugađanje po pojasevima*. Za svaki pojas frekvencija kratkog vala upotrebljava se posebna zavojnica za ugađanje (na primjer zavojnica s nožištem za uticanje, vidi odsjek 349) i p a r a l e l n o k promjenljivom kondenzatoru (konačnog kapaciteta 25 do 50 pF) posebni p o j a s n i k o n d e n z a t o r (čvrsti kondenzator), tako da se dotično područje frekvencija proteže preko 50 do 70% skale za ugađanje. Pri primanju nekog drugog pojasa frekvencija treba izmijeniti zavojnicu za ugađanje i pojasni kondenzator. To ne uzrokuje nikakve poteškoće, ako se mali pojasni kondenzatori (bez induktiviteta) ugrade zajedno sa zavojnicama za ugađanje na isto nožište.

352. — Upoznat ćemo se još s *proračunavanjem pojasnog kondenzatora*. Odnos frekvencija dotičnog frekventnog pojasa neka bude $\frac{\text{(gornja) početna frekvencija}}{\text{(donja) konačna frekvencija}} = \frac{f_a}{f_e}$. Kako su rezonantne frekvencije (dio I, jedn. 54) obrnuto proporcionalne kvadratnom korijenu kapaciteta za ugađanje, vrijedit će: $f_a/f_e = \sqrt{C_e/C_a}$, ako C_e označuje konačni, a C_a početni kapacitet promjenljivog kondenzatora. Budući da je paralelno kapacitetu C promjenljivog kondenzatora spojen kapacitet C_b pojasnog kondenzatora, a također i prividni kapacitet C_s kojim je nadomješten kapacitet elektronke, spojeva i zavojnice (sl. 243), ne smijemo računati samo sa C_e i C_a, nego sa $(C_e + C_b + C_s)$ i $(C_a + C_b + C_s)$. Prema tome dobivamo:



Sl. 243.

$$\frac{f_a}{f_e} = \sqrt{\frac{C_e + C_b + C_s}{C_a + C_b + C_s}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (77)$$

Paralelni se kapicitet C_s ne može sasvim tačno odrediti. Prosječno se može prema iskustvu uzeti za $C_s \approx 20$ pF. Zbog ovoga nastala odstupanja p r o r a č u n a n e frekvencije od p r a k t i č k i dobivene u većini slučajeva bit će bez većeg značenja.

353. — Tok ovog proračuna objasnimo pobliže na primjeru: Neka je $C_a = 10$ pF, $C_e = 25$ pF, $C_s = 20$ pF, $f_a = 7{,}300$ MHz i $f_e = 7{,}000$ MHz (40-metarski pojas). Iz jedn. (77) slijedi: $7{,}300/7{,}000 = \sqrt{(C_b+45)/(C_b+30)}$; kvadriranjem dobivamo: $1{,}043^2\,(C_b + 30) = C_b + 45$. Odatle imamo $C_b \approx 140$ pF. U ovom slučaju obuhvaća skala sa 100° upravo cijelo područje 40-metarskog pojasa. U praksi želimo da prema odsjeku 351. iskoristimo samo 50 do 70% područja skale, da bismo mogli najviše i najniže frekvencije cijelog područja još dobro ugoditi. Umjesto 7 MHz i 7,3 MHz moramo dakle staviti za graničnu frekvenciju 6,9 MHz i 7,4 MHz. Isti račun kao ranije dat će sada pojasni kapacitet od 70 pF. Iz danih vrijednosti kapaciteta i frekvencije može se izračunati potrebni induktivitet zavojnice.

Ponavljanje

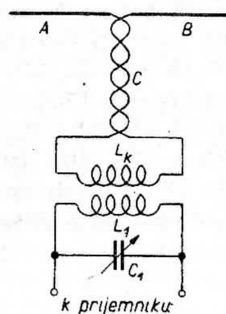
Kratkovalni radio-difuzni i pokusni odašiljači rade na određenim p o j a s e v i m a f r e k v e n c i j a. Zbog toga je najprikladnije da se pri ugađanju kratkih valova za svaki frekventni pojas upotrijebi posebno p o j a s n o u g a đ a n j e. U ovom se postupku ne upotrebljava za cijelo kratkovalno područje jedan te isti titrajni krug, nego se za svaki pojedini pojas upotrebljava posebna zavojnica i posebni takozvani p o j a s n i k o n d e n z a t o r. Kapacitete pojasnog kondenzatora spojenog paralelno kondenzatoru za ugađanje odabire se tako, da se dotično područje frekvencija proteže na 50 do 70% skale.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Zašto kondenzatori za ugađanje srednjevalnog i dugovalnog područja nisu prikladni također za ugađanje kratkovalnog područja? *Odgovor:* Zato, što na svaki stupanj skale promjenljivog kondenzatora otpada na području kratkih valova mnogo šire područje frekvencija. — *P.*: Na kojim područjima frekvencija rade odašiljači za kratke valove? *O.*: Na određenim frekventnim pojasevima i to radio-difuzni odašiljači na 16, 19, 25, 31 i 49-metarskom pojasu, a pokusni odašiljači kratkovalnih amatera na 10, 20, 40, 80 i 160-metarskom pojasu. — *P.*: Kako utječe ova činjenica na ugađanje prijemnika za kratke valove? *O.*: Budući da kratkovalni odašiljači nisu jednoliko raspoređeni po čitavom području kratkih valova, svrsishodnije je primijeniti pojasno ugađanje. — *P.*: Na kojem principu radi pojasno ugađanje? *O.*: Za svaki pojas kratkih valova upotrebljava se posebna zavojnica i posebni takozvani pojasni kondenzator. — *P.*: Koje pravilo vrijedi za dimenzioniranje pojasnog kondenzatora? *O.*: Kapacitet pojasnog kondenzatora treba tako odabrati, da dotični frekventni pojas pokriva 50 do 70% skale. — *P.*: Kako se spaja pojasni kondenzator? *O.*: Paralelno promjenljivom kondenzatoru za ugađanje. — *P.*: Koliki konačni kapacitet treba da ima promjenljivi kapacitet za ugađanje? *O.*: 25 do 50 pF. — *P.*: Kako se obavlja prijelaz s jednog pojasa frekvencija na drugi? *O.*: Izmjenom zavojnice za ugađanje i pojasnog kondenzatora.

Najvažnije izvedbe prijemnika za kratke valove

354. — Prijemnici za kratke valove mogu se u načelu priključiti bez daljnjega na antenu običnog radio-difuznog prijemnika. Preporučuje se također da se za prijem kratkih valova upotrijebi *visoka vanjska antena* ukupne dužine oko 20 m. Najbolje rezultate daje *L-antena* (vidi dio I, odsjek 122). Antene s oklopljenim dovodom nisu prikladne za prijem kratkih valova (vidi dio I, odsjek 168), jer se velik dio energije odvodi preko kapaciteta oklopljenog kabela prema zemlji. Treba li primati samo kratkovalne odašiljače, pogotovo pokusne amaterske odašiljače, mogu se s najboljim uspjehom upotrijebiti antene određene za kratkovalne odašiljače. Ove ćemo tipove antena upoznati kasnije (vidi odsjek 409.). Zasada ćemo spomenuti za primjer, koji se može osobito preporučiti, *dipol-antenu s pletenim pojnim vodom*. Pod »dipolom« razumijevamo općenito svaku antenu koja je slobodno ovješena u prostoru i izvedena bez uzemljenja. Već prema vanjskom obliku razlikujemo ravne i savijene, horizontalne i vertikalne dipole (usporedi također dio I, odsjek 134). Dipol prikazan na sl. 244. sastoji se od dvije jednako dugačke žice *A* i *B*, koje su smještene jedna drugoj nasuprot, u horizontalnom ili vartikalnom položaju. *C* je pleteni pojni vod[73]), L_k je zavojnica za vezu, a L_1 i C_1 ulazni titrajni krug prijemnika za kratke valove. Prednost pletenog pojnog voda je ta, da se razne smetnje, također iz blizih izvora smetnji, uslijed protufaznosti u pojnom vodu poništavaju. S *usmjernim antenama* mogu se postići također vrlo dobri rezultati. Ovdje se radi o oblicima antena koje osobito dobro primaju iz određenog smjera. Uslijed toga se istodobno snizuje nivo smetnji i smanjuje fejding. Pobliže ćemo usmjerne antene opisati kod kratkovalnih odašiljača (vidi odsj. 416).

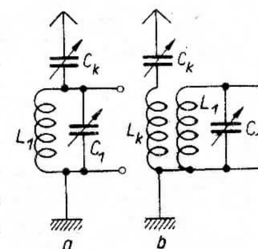


Sl. 244.

73) To može biti obična pletenica s gumenom izolacijom.

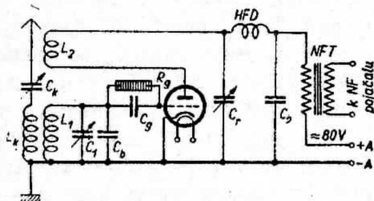
355. — Postoje različite mogućnosti priključivanja visoke antene na prijemnik: *kapacitivna antenska veza* (vidi dio I, odsjek 201) prema sl. 245.-a daje zbog toga, što se antena pomoću promjenljivog kondenzatora $C_k \approx 25$ pF može ugoditi, vrlo glasan prijem. No kako je pri ugađanju položaj kondenzatora C_k ovisan o položaju kondenzatora C_1, teško je takav prijemnik baždariti. Osim toga dolazi do takozvanih »rupa u ugađanju«, ako prijemnik radi baš na vlastitoj valnoj dužini ili na kojem od nadvalova prijemne antene, jer tada antenski krug L_1—C_k oduzima previše energije rešetkinom krugu L_1—C_1. Prijemnik u tom slučaju slabo radi. *Induktivna antenska veza* prema sl. 245.-b nije toliko ovisna o dužini antene kao kapacitivna veza. Pri tome se pretpostavlja da antenska veza nije suviše čvrsta. Antenska zavojnica L_k smije imati samo nekoliko zavoja. U ovom slučaju nema »rupa« pri ugađanju. Budući da osjetljivost prijema s induktivnom antenskom vezom nije mnogo slabija od one s kapacitivnom antenskom vezom, induktivna antenska veza rado upotrebljava za jednostavnije audionske prijemnike s reakcijom.

356. — Spojevi prijemnika za kratke valove u načelu se podudaraju sa spojevima normalnih razglasnih prijemnika. Ukoliko se pak radi o specijalnim prijemnicima za kratke valove za primanje moduliranih ili nemoduliranih odašiljača, postavljaju se na konstrukciju prijemnika posebni zahtjevi, koje ćemo ovdje pobliže upoznati. Između svega najvažniji je *ispravan rad reakcije!* U prijemu moduliranog odašiljača služi reakcija, kao što je poznato, tome da se postigne što veća osjetljivost prijema (vidi odsjek 179). U prijemu nemodulirane telegrafije proizvode se pomoću reakcije pomoćne oscilacije, koje se miješaju s primanim oscilacijama. Miješanjem ovih dviju frekvencija nastali ton omogućuje prijem nemodulirane telegrafije (vidi odsjek 347). Osnovni spoj je *audion s reakcijom*, u kojem se dio visokofrekventne energije vraća iz anodnog kruga u krug rešetke (vidi odsjeke 170 i 176). Pri tome mora postojati mogućnost ugađanja stupnja reakcije, tako da dolazi do »meke« reakcije (vidi odsjek 178). Kod primanja nemodulirane telegrafije pojačava se reakcija tako dugo, dok ne dođe do oscilacija.



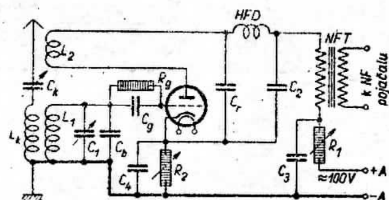
Sl. 245.

Nakon toga se krug rešetke malo razgodi, kako bi se interferencijom između frekvencije proizvedene reakcijom i primane frekvencije dobio interferentan ton. Najvažnije spojeve reakcije opisali smo u odsjecima 180. do 184. Poznat i danas još mnogo upotrebljavan je *Schnellov spoj* (sl. 246, usporedi također sl. 139). Reakcija se postizava induktivno pomoću zavojnice za reakciju L_2, koja djeluje na zavojnicu kruga rešetke L_1. Obje su zavojnice namotane čvrsto na istom tijelu za namatanje. Zavojnica za reakciju L_2 ima tek jednu četvrtinu do jednu trećinu broja zavoja zavojnice rešetke L_1. Regulacija reakcije do nastupanja oscilacija izvodi se kapacitivno pomoću reakcionog kondenzatora $C_r = 100$ do 250 pF. Kratkovalna visokofrekventna prigušnica *HFD* namotana s malo vlastitog kapaciteta, koja se može također nadomjestiti omskim otporom od 10 do 20 kΩ, sprečava prijelaz visokofrekventnih titraja u niskofrekventni transformator *NFT*. Eventualni ostaci visoke frekvencije odvode se preko kondenzatora C_2 u zemlju. Odvodni otpor rešetke $R_g = 1$ MΩ, a kondenzator rešetke $C_g = 10$ do 250 pF. C_b je paralelno kondenzatoru za ugađanje spojen pojasni kondenzator (vidi odsjek 351). Na žalost Schnellov spoj ima tu manu, da je ugađanje ovisno o položaju reakcionog kondenzatora. Prilikom pomicanja ovog kondenzatora (C_r) potrebno je korigirati ugađanje pomoću kondenzatora C_1, da bi se postigla najveća osjetljivost. Time je otežano baždarenje i sigurnost pogona prijemnika.



Sl. 246.

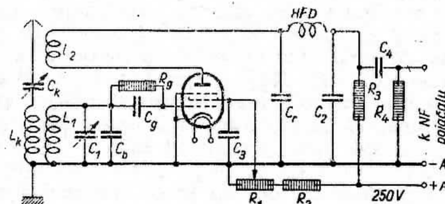
357. — Ova se mana može znatno ublažiti ako se regulacija reakcije izvodi *promjenom anodnog istosmjernog napona*. U tu se svrhu spaja u anodni vod promjenljiv otpor R_1 od 50 kΩ (sl. 247). Ako je taj otpor ukopčan čitav, ne može uslijed velikog pada napona na njemu, odnosno uslijed niskog anodnog napona, uopće doći do osciliranja. Smanjuje li se otpor R_1, doći će do osciliranja. Prikladnim dimenzioniranjem zavojnice i reakcionog kondenzatora može se postići da do osciliranja dođe baš u srednjem položaju otpora R_1. U ostalome odgovara spoj onome na sl. 246. Kondenzator $C_3 = 0,1$ do 0,5 μF otklanja »grebenje«, koje bi moglo nastati uslijed lošeg kliznog



Sl. 247.

kontakta na R_1. Promjenljivim katodnim otporom $R_2 = 2$ kΩ, koji je također premošten kondenzatorom ($C_4 = 1\,000$ pF), može se ugoditi najpovoljniji prednapon rešetke ove triode.[74] Time se postizava istodobno dobra demodulacija i velika osjetljivost prijema.

358. — Najbolje rezultate u svakom pogledu daje *audion sa zaštitnom rešetkom* (s elektronkom sa zaštitnom rešetkom, sl. 248, usporedi također sl. 144). Regulacija reakcije vrši se ovdje potpuno neovisno o frekvenciji promjenom napona zaštitne rešetke pomoću potenciometra $R_1 = 50$ kΩ + $R_2 = 100$ kΩ. Ove se veličine odnose na pentodu AF 7 i anodni napon od 250 V. Područje regulacije napona zaštitne rešetke na taj način leži između 0 i 100 V. Kondenzator $C_3 = 0,1$ μF služi za otklanjanje »grebenja«, koje bi moglo nastati zbog lošeg kliznog kontakta na R_1, a istodobno i za visokofrekventno uzemljenje zaštitne rešetke. Način rada ovog spoja odgovara dosada opisanim spojevima. Prijelaz na slijedeći stupanj (niskofrekventnog pojačala) ne može se u ovom slučaju zbog velikog unutarnjeg otpora pentode izvesti pomoću transformatora. Veza se najčešće sastoji od $R_3 = 0,2$ MΩ[75]), kondenzatora za vezu $C_4 = 10\,000$ pF i odvodnog otpora rešetke $R_4 = 1$ MΩ. Umjesto otpora R_3 može se upotrijebiti i niskofrekventna prigušnica sa željeznom jezgrom induktiviteta nekoliko stotina henrija.



Sl. 248.

Ponavljanje

Osim obične visoke antene upotrebljavaju se za primanje kratkih valova i neki specijalni oblici antena. Tako je na primjer osobito povoljan *dipol s pletenim pojnim vodom*. Takva se antena sastoji od dviju jednako dugih međusobno suprotno usmjerenih žica, koja su pletenim pojnim vodom i zavojnicom za vezu spojene na ulazni krug prijemnika. Iz nekog određenog smjera može se energija osobito dobro primati pomoću *usmjerne antene*. Time se znatno smanjuje razina smetnji i fejding. Visoka antena određena za primanje kratkog vala može se vezati na ulazni krug ili kapacitivno pomoću promjenljivog kondenzatora ili induktivno pomoću antenske zavojnice. Mana kapacitivne antenske veze je, da kod nje lako dolazi do takozvanih rupa u pri-

---

[74]) U baterijskim prijemnicima može se prednapon ugoditi prema sl. 123.-b.

[75]) Ako oscilacije moraju naglo nestati, onda treba pokusima odrediti neku drugu vrijednost za otpor R_3.

jemu. Osim toga je ugađanje ovisno o položaju antenskog kondenzatora. U prijemniku za kratke valove treba najviše paziti na besprijekorno funkcioniranje reakcije, da bi se početak osciliranja mogao sigurno namjestiti. Osobito je omiljeo Schnellov spoj; ovdje se radi o audionu s reakcijom, kod kojeg se reakcija izvodi induktivno, a regulira kapacitivno. Kako je međutim ugađanje ovisno o položaju reakcionog kondenzatora, preporučuje se da se regulacija reakcije izvodi promjenom anodnog napona audionke. Za tu se svrhu u anodni vod spaja promjenljivi otpor. Najbolje radi audion s elektronkom sa zaštitnom rešetkom. Regulacija reakcije izvodi se ovdje promjenom napona zaštitne rešetke pomoću potenciometra.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakve antene dolaze u obzir za primanje kratkih valova? *Odgovor:* Obične visoke antene i specijalne antene, koje se upotrebljavaju također za kratkovalne odašiljače. — *P.:* O kojim smo specijalnim antenama govorili? *O.:* O dipolu s pletenim pojnim vodom i o usmjernim antenama. — *P.:* Koje su prednosti pletenog pojnog voda? *O.:* Eventualne lokalne smetnje poništavaju se uslijed protufaznosti. — *P.:* Kako je to moguće? *O.:* Inducirani naponi od lokalnih smetnji u samom pojnom vodu imaju fazni pomak od 180°. — *P.:* Koja je prednost usmjerne antene? *O.:* Budući da je prijem iz određenog smjera vrlo jak, lokalne smetnje i fejding ne dolaze toliko do izražaja kao kod drugih oblika antena. — *P.:* Kako se može izvesti antenska veza? *O.:* Kapacitivno ili induktivno. — *P.:* Zašto je induktivna veza povoljnija od kapacitivne? *O.:* Zato što je ugađanje antenskog kruga i kruga rešetke međusobno malo ovisno, a također ne dolazi do »rupa« u prijemu. — *P.:* Koji se osnovni zahtjev postavlja na prijemnik za kratke valove. *O.:* Reakcija mora da funkcionira besprijekorno. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Zato da bi se prijemnik mogao tačno ugoditi na položaj u kojem se javljaju oscilacije. — *P.:* Koji se spoj u kratkovalnim prijemnicima često upotrebljava? *O.:* Schnellov spoj. — *P.:* Kako radi reakcija u ovom spoju? *O.:* Reakcija se izvodi induktivno, a regulira kapacitivno. — *P.:* Kako se može postići, da ugađanje ne bude ovisno o regulaciji reakcije? *O.:* Tako da se reakcija ne regulira kapacitivno, nego promjenom anodnog napona. — *P.:* Koji se spoj za demodulaciju može najviše preporučiti? *O.:* Audion s elektronkom sa zaštitnom rešetkom. — *P.:* Kako se pri tome izvodi regulacija reakcije? *O.:* Promjenom napona zaštitne rešetke.

Pitanja

166. Koja je svrha pojasnog ugađanja kratkovalnog prijemnika?
167. Što je dipol?
168. Koji je spoj za kratkovalne prijemnike najpovoljniji?

Zadaci

116. Podaci o krugu za ugađanje radio-difuznog prijemnika za kratke valove su ovi: Induktivitet = 10 μH, početni kapacitet kondenzatora za ugađanje = 10 pF, a njegov konačni kapacitet = 110 pF, kapacitet spojeva = 20 pF. S kondenzatorom za ugađanje spojen je u seriju čvrst kondenzator od 100 pF: a) Koje se frekventno područje može s promjenljivim kondenzatohom obuhvatiti? b) Kojem valnom području ovo odgovara?

117. Kratkovalni prijemnik radi na pojasu od 80 m s pojasnim ugađanjem. Početni kapacitet promjenljivog kondenzatora za ugađanje je 10 pF i konačni kapacitet 55 pF, dok kapacitet spojeva iznosi oko

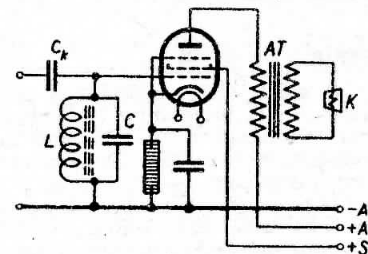
20 pF: a) Koliki mora da bude pojasni kondenzator, ako se promjenljivim kondenzatorom mora obuhvatiti područje koje leži 2,5% ispod i iznad određenog područja? b) Koja širina frekventnog pojasa otpada na 1° skale kondenzatora, ako skala ima 100° (pretpostavlja se da je kondenzator ravan po frekvenciji; vidi dio I, odsjek 229)? c) Koje se područje frekvencija može obuhvatiti, uz pretpostavku da je gornja granična frekvencija ista, a bez pojasnog kondenzatora? d) Kolika bi bila širina pojasa po 1° skale u ovom slučaju?

359. — *Niskofrekventno pojačalo* kratkovalnog prijemnika spojeno je isto kao i u svakom običnom prijemniku. Tako se može na primjer na priključnice audiona s reakcijom označene sa »k niskofrekventnom pojačalu« na sl. 246. do 248. priključiti direktno izlazna pentoda ili pak preko niskofrekventnog stupnja pretpojačala s otpornom vezom. Time se dobivaju ovi dobri spojevi kratkovalnih prijemnika:

1. Audion s reakcijom (na primjer AC 2) s transformatorskom vezom na izlazni stupanj s pentodom (na primjer AL 4).
2. Audion s reakcijom s triodom i s otpornom vezom na izlazni stupanj s pentodom.
3. Audion s reakcijom s triodom, s otpornom vezom na niskofrekventni stupanj pretpojačala s triodom i s otpornom vezom na izlazni stupanj s pentodom.
4. Audion s reakcijom s pentodom, s otpornom vezom (odnosno s prigušnicom) na izlazni stupanj s pentodom.

Radi li se o prijemniku koji mora da služi isključivo za telegrafiju, ako se dakle ne polaže važnost na primanje telefonije, onda se više ne traži malen faktor izobličenja. U tom slučaju se čak želi da se duboki i visoki tonovi potisnu i da se istakne samo područje interferentnog tona oko 1 000 Hz (usporedi odsjeke 347 i 356). Frekventna krivulja treba da na ovoj frekvenciji ima (ne preoštar) šiljak. Ovo se isticanje tonfrekventnog područja naziva *tonskom selekcijom*. Time se istodobno postizava veća selektivnost prijema, pa se time razmjerno smanjuju i smetnje.

360. — Tonską selekcija može se postići na razne načine. Najjednostavnije je iskoristiti *rasipnu rezonanciju* niskofrekventnog transformatora između audiona i izlaznog stupnja (usporedi odsjeke 99 i 100). Za tu svrhu treba spojiti kondenzator paralelno sekundarnom namotaju transformatora. Njegov kapacitet treba tako odabrati, da rasipna rezonantna frekvencija pada u područje oko 1 000 Hz. Može se također spojiti kondenzator paralelno primarnom namotaju transformatora. Tada se za tonsku selekciju iskorištava *paralelna rezonancija* (usporedi odsjek 96). Još uspješniji spoj za tonsku selekciju prikazan je na sl. 249. Paralelno krugu rešetke izlazne elektronke spojen je zaporni



Sl. 249.

krug $L - C$, kojemu je rezonantna frekvencija otprilike kod 1 000 Hz ($L \approx 5$ H, $C \approx 5\,000$ pF). U slučaju rezonancije ima zaporni krug najveći otpor za izmjeničnu struju, tako da će krug rešetke biti u tom slučaju najmanje prigušen. Iznad i ispod rezonantne frekvencije uzrokuje zaporni krug uslijed svog malenog otpora za izmjeničnu struju znatno prigušenje kruga rešetke izlazne elektronke. Visoki i duboki tonovi bit će time znatno oslabljeni. Kondenzator za vezu $C_k \approx 10\,00$ pF odjeljuje anodni istosmjerni napon predstupnja (audion s reakcijom s otpornom vezom ili s prigušnicom) od uzbudne rešetke.

361. — **Budući da je većina prijemnika za kratkovalne amatere namijenjena** *za primanje na slušalice*, izlazni stupanj treba da daje sasvim malu izlaznu snagu (nasuprot običnim kućnim prijemnicima). Zato se više pazi na to da i izlazni stupanj u što većoj mjeri p o j a č a v a napon. U izlaznom stupnju je stoga zgodno upotrijebiti neku modernu pentodu (na primjer AF 7 ili EF 12). Za puno iskorišćenje pojačanja napona mora se impedancija slušalice K (oko 2,5 do 5 kΩ kod 1 000 Hz) pomoću prilagodnog transformatora AT transformirati na više (na otprilike 0,1 do 0,5 MΩ, vidi sl. 249). Budući da je potrebno da primarni namotaj ima vrlo veliku impedanciju, mora on imati vrlo velik broj zavoja.

Ponavljanje

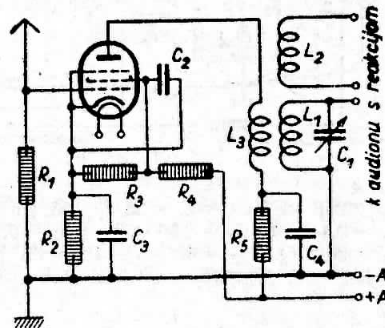
N i s k o f r e k v e n t n o   p o j a č a l o prijemnika za kratke valove nema nikakvih osobitosti. No u prijemnicima koji su namijenjeni isključivo za primanje telegrafije, nalazimo često takozvanu t o n s k u   s e l e k c i j u. Njen je zadatak da izluči samo područje tonova oko interferentnog tona (1 000 Hz). Time se istodobno poboljšava selektivnost prijema i snizuje razina smetnji. Za tonsku selekciju može se iskoristiti r a s i p n a   r e z o n a n c i j a ili p a r a l e l n a   r e z o n a n c i j a niskofrekventnog transformatora. Osobito djelotvorna tonska selekcija može se postići upotrebom zapornog kruga u krugu rešetke izlazne elektronke. Većina prijemnika kratkovalnih amatera radi na s l u š a l i c e. U tom se slučaju u posljednjem stupnju upotrebljava pentoda s velikim faktorom pojačanja, tako da i ovaj stupanj daje znatno pojačanje napona. Slušalice u tom slučaju moraju preko izlaznog transformatora biti prilagođene velikom unutarnjem otporu pentode.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Da li se razlikuje način gradnje niskofrekventnog pojačala kratkovalnog prijemnika od onog običnog kućnog prijemnika? *Odgovor:* U načelu ne. — *P.:* Kad ipak dolazi do odstupanja? *O.:* U prijemnicima koji su namijenjeni samo za primanje telegrafskih kratkovalnih odašiljača. — *P.:* U čemu se sastoje ta odstupanja? *O.:* Niskofrekventno pojačalo prenosi samo frekventno područje oko interferentnog tona (oko 1 000 Hz). Duboki i visoki tonovi su potisnuti. — *P.:* Kako nazivamo taj postupak? *O.:* Tonskom selekcijom. — *P.:* Koja je prednost s time povezana? *O.:* Selektivnost se povećava, a smetnje kod prijema se smanjuju. — *P.:* Kako se može postići tonska selekcija? *O.:* Iskorištenjem rasipne ili paralelne rezonancije niskofrekventnog transformatora. — *P.:* Kakav spoj treba ovdje primijeniti? *O.:* Paralelno sekundarnom ili primarnom namotaju niskofrekventnog transformatora treba

spojiti kondenzator. — *P.:* Kako treba odabrati kapacitet ovog kondenzatora? *O.:* Tako da sa rasipnim induktivitetom, odnosno s induktivitetom primarnog namotaja, daje rezonanciju kod 1 000 Hz. — *P.:* Kakve se izlazne elektronke obično upotrebljavaju u kratkovalnim prijemnicima? *O.:* Izlazne pentode za primanje na zvučnik i pentode za niskofrekventno pojačavanje za primanje na slušalice.

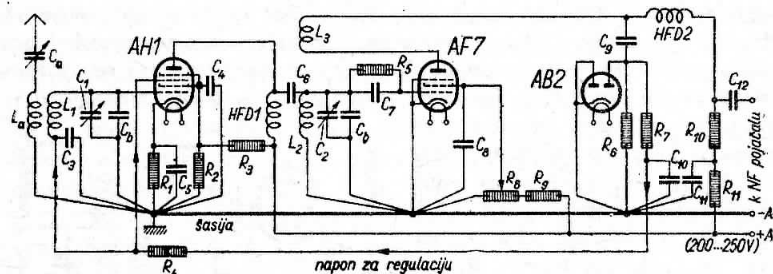
362. — Osjetljivost kratkovalnog prijemnika može se povećati prigradnjom *visokofrekventnog stupnja.* **Znatnije visokofrekventno pojačanje može se očekivati samo onda, ako se upotrijebe moderne pentode** za visokofrekventno pojačavanje s ravnom ili eksponencijalnom karakteristikom, koje imaju vrlo malen kapacitet između rešetke i anode (usporedi odsjeke 193, 253, 254 i 348). Visokofrekventni stupanj daje ove prednosti: povećava osjetljivost prijema i selektivnost, umanjuje ovisnost o anteni, isključuje rupe pri ugađanju i isijavanje oscilacija od audiona s reakcijom, te omogućuje baždarenje prijemnika. Najjednostavniju izvedbu predstavlja *aperiodsko visokofrekventno pojačalo* (sl. 250). Uobičajeni titrajni krug može se ovlje nadomjestiti omskim otporom $R_1 = 10$ do 50 kΩ. Svi titraji, koje antena prima, uzrokuju na otporu R_1 pad izmjeničnog napona, koji djeluje na uzbudnu rešetku visokofrekventnog stupnja pojačala (na primjer AF 7 ili EF 12). Izlučivanje primanih titraja vrši se tek u krugu rešetke audiona $L_1 - C_1$. Za pentodu AF 7 i za anodni napon od 200 do 250 V vrijede ovi podaci: katodni otpor $R_2 = 300\ \Omega$, potenciometar zaštitne rešetke $R_3 = 40\,k\Omega + R_4 = 60\,k\Omega$, anodni predotpor $R_5 = 1\,k\Omega$, premosni kondenzatori $C_2 = C_3 = C_4 = 0{,}1\ \mu F$.



Sl. 250.

363. — Na sl. 251. vidimo spoj osobito osjetljivog kratkovalnog prijemnika *s ugođenim stupnjem visokofrekventnog pojačala.* Ovdje se radi o prijemniku s dva kruga (L_1—C_1 i L_2—C_2) s automatskom regulacijom fejdinga. Napon za regulaciju dobiva se kao i inače pomoću duodiode AB 2. Iskorištava se samo jedan diodni sistem, pa je drugi kratko spojen. Visokofrekventni naponi dovode se diodi s anodnog kruga audiona (sa zaštitnom rešetkom) preko kondenzatora $C_9 = 100$ pF. Spoj audiona sa zaštitnom rešetkom podudara se s onim na sl. 248. U visokofrekventnom stupnju pojačala radi heksoda AH 1, u kojoj prva i treća rešetka dobivaju napon regulacije bez odgađaja preko članka otpornog filtra $R_4 = 0{,}5$ MΩ — $C_3 = 0{,}1\ \mu$F i $R_7 = 0{,}5$ MΩ — $C_{10} = 0{,}1\ \mu$F (usporedi odsjek 220, i sl. 193). Drugi krug za ugađanje L_2—C_2 običan je zaporni krug, koji je preko kondenzatora $C_6 = 100$ pF i kratkovalne visokofrekventne prigušnice *HFD 1* vezan na anodni krug visokofrekventnog

stupnja. Daljnja objašnjenja o spoju na sl. 251. nisu potrebna, jer smo o tome već često govorili. Veličine kondenzatora i otpora vide se iz opisa k sl. 251. Treba još spomenuti da se izjednačenjem obaju titrajnih krugova može postići ugađanje jednim dugmetom. Pri p r a k t i č n o j g r a d n j i kratkovalnog prijemnika treba paziti na to da se minus-vodovi visokofrekventnog i audionskog stupnja izvode odvojeno i n a j k r a ć i m putem (izbjegavanje gubitaka isijavanjem) dovode zajedničkoj sabirnoj minus-tački (zajedničkoj tački nul-potencijala). Svaka je sabirna tačka, kao što je na sl. 251. prikazano, spojena s metalnom



Sl. 251.

$C_a = 250$ pF, $C_1 = C_2 = 25$ do 55 pF, $C_3 = C_4 = C_5 = 0{,}1$ μF, $C_6 = C_7 = 100$ pF, $C_8 = 0{,}1$ μF, $C_9 = 100$ pF, $C_{10} = 0{,}1$ μF, $C_{11} = 2$ μF, $C_{12} = 10\,000$ pF; $R_1 = 300$ Ω, $R_2 = 40$ kΩ, $R_3 = 60$ kΩ, $R_4 = 0{,}5$ MΩ, $R_5 = R_6 = 1$ MΩ, $R_7 = 0{,}5$ MΩ, $R_8 = 50$ kΩ, $R_9 = 100$ kΩ, $R_{10} = 0{,}2$ MΩ, $R_{11} = 50$ kΩ.

konstrukcijom (šasijom). Još je bolje svaku od sabirnih tačaka spojiti s najmanje dva milimetra debelom žicom posebno na priključnicu za uzemljenje tako da se metalna šasija uopće ne upotrebljava kao vodič za visokofrekventne struje. Na taj se način izbjegavaju »divlje veze« pojedinih stupnjeva, koje mogu dovesti do nepoželjnog samouzbuđenja prijemnika ili do prividno neobjašnjivih prigušenja (uslijed negativne reakcije). Istodobno se time uklanja osjetljivost pri rukovanju (vidi odsjek 182).

364. — *Super-prijemnici* su najosjetljiviji prijemnici također i za kratke valove. Iz odsjeka 254, 291, 300. i 307. vidjeli smo koje su dobre osobine modernih elektronki i na području kratkih valova. Govorili smo o tome da su moderni superi građeni ne samo za prijem srednjih i dugih valova, nego i za prijem kratkih valova. U tu se svrhu prespajaju samo ugodivi krugovi ispred međufrekventnog pojačala. Sve prednosti običnog kućnog supera dolaze do izražaja i u kratkovalnim superima, a u prvom redu višestruka regulacija fejdinga i regulacija jakosti zvuka. To je osobito važno, jer se u prijemu kratkih valova uvijek može računati s brzim i jakim pojavama fejdinga (vidi odsjek 345). Kratkovalni super za prijem n e m o d u l i r a n e telegrafije mora da ima i p o m o ć n i oscilator (vidi odsjek 347). U najjednostavnijem slučaju sastoji se takav kratkovalni super od audiona s reakcijom koji je prema primanoj frekvenciji razgođen za međufrekvenciju, i od d r u g o g audiona s reakcijom, koji je prema međufrekvenciji tako razgođen, da s ovom daje željeni interferentni ton. Znatno je bolje ako se oba pomoćna titranja proizvode posebnim oscilatorima i u tu svrhu upotrebe moderne elektronke za miješanje. Time se dobiva mogućnost da se prijemni i međufrekventni krugovi ugode na primanu frekvenciju i međufrekvenciju, a potrebno razgođenje postizava, kao i kod običnog supera, u oscilatorskom krugu. Takav kratkovalni super građen je prema tome na primjer ovako: visokofrekventni stupanj, moderni stupanj za miješanje (za proizvođenje međufrekvencije), stupanj međufrekventnog pojačala, moderni stupanj za miješanje (za proizvođenje interferentnog tona), niskofrekventni i izlazni stupanj ili samo izlazni stupanj. Za izbor međufrekvencije kratkovalnog supera vrijede ista pravila koja smo već upoznali u odsjecima 268. do 273.

Ponavljanje

Osjetljivost prijemnika za kratke valove može se znatno poboljšati ugradnjom modernih pentoda u v i s o k o f r e k v e n t n o m s t u p n j u. Kod a p e r i o d s k o g stupnja visokofrekventnog pojačala nadomješta se ulazni titrajni krug omskim otporom. Ugađanje se vrši tek u krugu rešetke audiona s reakcijom. Još povoljnije radi u g o đ e n i v i s o k o f r e k v e n t n i s t u p a n j s eksponencijalnom heksodom i s regulacijom fejdinga. Minus-vodove visokofrekventnog i audionskog stupnja kratkovalnog prijemnika treba najkraćim putem dovesti do sabirne tačke. Svaku sabirnu tačku treba spojiti na metalnu šasiju zasebno, ili još bolje preko najmanje dva milimetra debele žice direktno na priključnicu za uzemljenje. Time se izbjegavaju nepoželjna samouzbuđenja i prigušenja, te se ujedno praktički odstranjuje osjetljivost na rukovanje. Najbolji kratkovalni prijemnici su k r a t k o v a l n i s u p e r i. Prednosti supera dolaze i kod kratkog vala potpuno do izražaja. Ako se radi o prijemu nemodulirane telegrafije potrebna su dva oscilatora, jedan za proizvođenje međufrekvencije, a drugi za proizvođenje interferentnog tona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja je značajka aperiodskog stupnja visokofrekventnog pojačala? *Odgovor:* U ulaznom je krugu umjesto ugodivog kruga spojen običan omski otpor. — *P.:* Gdje se u tom slučaju vrši ugađanje prijemnika? *O.:* U krugu rešetke audiona s reakcijom. — *P.:* Kako se može poboljšati osjetljivost kratkovalnog prijemnika? *O.:* Primjenom ugođenog stupnja visokofrekventnog pojačala, koji radi s regulacijom fejdinga. — *P.:* Koje se elektronke upotrebljavaju u stupnju visokofrekventnog pojačala? *O.:* Moderne pentode s ravnom ili s eksponencijalnom karakteristikom. — *P.:* Na što treba paziti pri gradnji modernog kratkovalnog prijemnika? *O.:* Minus-vodovi visokofrekventnog i audionskog stupnja treba da se sastaju u sabirnim tačkama. Pojedinu sabirnu tačku treba spojiti s metalnom šasijom ili još bolje svaku odvojeno dovesti do priključnice za uzemljenje. — *P.:* Koji su najbolji prijemnici za kratke valove? *O.:* Kratkovalni superi s modernim elektronkama. — *P.:* Čime se

razlikuje super namijenjen za primanje nemodulirane telegrafije od običnog kućnog supera? *O.:* Ima dva oscilatora. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Za proizvođenje međufrekvencije i interferentnog tona.

Pitanja

169. Što se postizava s tonskom selekcijom u kratkovalnom prijemniku?
170. Koje su prednosti prijemnika s visokofrekventnim stupnjem?
171. Koja je elektronka za miješanje osobito prikladna za kratkovalne supere?

Zadaci

118. Nacrtaj spoj kratkovalnog prijemnika (bez mrežnog dijela) ovog sastava: audion sa zaštitnom rešetkom s promjenljivim ugađanjem antene, s pojasnim ugađanjem i prikladnom regulacijom reakcije, tonskom selekcijom i izlaznim stupnjem za slušalice.
119. Slušalice imaju impedanciju od 3 kΩ, te moraju biti transformatorom prilagođene na otpor od 0,3 MΩ: Koji prijenosni odnos mora da ima ovaj prilagodni transformator?

IX. Odašiljači

Općenito o odašiljačima

365. — U odsjeku 170. saznali smo da se elektronke mogu upotrebljavati i za *proizvođenje titraja* (kao generatori izmjenične struje — oscilatori). Danas se neprigušeni visokofrekventni titraji proizvode isključivo pomoću *odašiljača s elektronkama,* a stariji su postupci, na primjer generatori s iskrištima, izgubili svoje praktično značenje (vidi dio I, odsjek 130). Samo se još u nekim velikim stanicama, koje rade na dugom valu, upotrebljavaju za tu svrhu generatori u obliku strojeva. Pomoću odašiljača s elektronkama mogu se proizvoditi neprigušeni električki titraji, kod kojih se dužina vala proteže preko čitavog područja valova upotrebljavanih u radio-tehnici (vidi dio I, odsjek 142).

Između prijemne i odašiljačke tehnike postoji značajna razlika: u prijemnoj tehnici polaže se važnost na to, da se između mnogih visokofrekventnih titraja različitih frekvencija, koji dolaze na prijemnu antenu, izdvoje poželjni, dakle da se postigne dobro razlučivanje (selektivnost); u prijemniku naime ne smije doći do međusobnog utjecaja svih titraja koje antena prima. Osim toga treba paziti da ni u jednom od stupnjeva prijemnika ne dođe do izobličenja modulacije. U tehnici odašiljača radi se uvijek samo s jednim visokofrekventnim titranjem potpuno određene frekvencije, koje treba pojačati do potrebne jakosti. Stvaranje nadvalova ovdje nije kritično, budući da titrajni krugovi osnovni, prijenosni val izdvajaju, a nadvalove potiskuju i čine neškodljivima. Osim toga ni opasnost izobličenja modulacije nije tako velika, jer se moduliranje prijenosne frekvencije vrši obično u posljednjem stupnju odašiljača.

Prijemne i odašiljačke elektronke u načelu su iste konstrukcije i istog načina rada. Odašiljačke elektronke imaju zbog mnogo većih snaga, koje prerađuju, također znatno veće dimenzije od prijemnih elektronki. Većim odašiljačkim elektronkama (snage od 10 kW do 300 kW) mora se u njima proizvedena toplina odvoditi rashladnom vodom. Uslijed većih dimenzija elektroda imaju odašiljačke elektronke također veće kapacitete između pojedinih elektroda, kao i veće induktivitete dovoda k elektrodama, tako da je najkraća granična dužina vala, ispod koje odašiljačka elektronka ne radi ispravno, znatno viša nego kod prijemnih elektronki.

366. — Proizvođenje električkih titraja pomoću elektronki osniva se na njezinu svojstvu (prema odsjeku 170) da se slabi titraji dovedeni na rešetku dobivaju pojačani u anodnom krugu. Ako se dio tako pojačanih titraja vrati iz anodnog titrajnog kruga na rešetkin krug, dolazi do takozvanog *samouzbuđenja* elektronke, to jest nastaju neprigušeni titraji (usporedi *Meissnerov* spoj povratne veze na sl. 132). U ovom slučaju iskorištava se elektronka istodobno za proizvođenje titraja i za odašiljanje energije u odašiljačku antenu. Osim ovakvog uzbuđivanja imamo i *strano uzbuđivanje*, kod kojeg se proizvođenje titraja vrši u posebnoj elektronki, koju tada nazivamo uzbudnom elektronkom ili *oscilatorkom*. Tako proizvedeni titraji dovode se (redovito preko visokofrekventnog pojačala s više stupnjeva) rešetkinom krugu izlazne odašiljačke elektronke, odakle pojačani prelaze preko anodnog titrajnog kruga odašiljačkoj anteni. Odašiljačke elektronke (osim oscilatorke) rade dakle kao visokofrekventna pojačala bez reakcije.

Ponavljanje

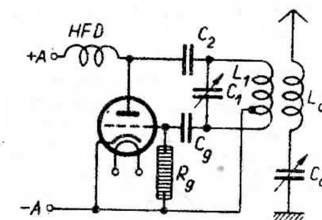
Elektromagnetski titraji od najkraćih do najduljih valnih dužina (od najviših do najnižih frekvencija) proizvode se danas isključivo pomoću *odašiljačkih elektronki*. Dok se u prijemnoj tehnici pazi na to da se postigne dobra selektivnost i da se u svim stupnjevima izbjegne izobličenje modulacije (stvaranje nadvalova), u odašiljačkoj tehnici radi se uvijek samo s visokofrekventnim titrajima potpuno određene frekvencije. Nepoželjni nadvalovi mogu se u odašiljačkoj tehnici lako učiniti neškodljivima prikladnim sredstvima za filtriranje. Konstrukcija i način rada odašiljačkih i prijemnih elektronki u načelu su isti. Zbog većih dimenzija imaju odašiljačke elektronke veće vlastite kapacitete i induktivitete, te se s odašiljačkim elektronkama ne može postići tako niska granična valna dužina kao s prijemnim elektronkama. Kod *samouzbudnog* odašiljača iskorištava se elektronka istodobno za proizvođenje titraja i davanja energije odašiljačkoj anteni. Kod odašiljača koji se *uzbuđuje strano*, proizvode se titraji u posebnoj elektronki. Tako proizvedeni titraji dovode se izlaznoj elektronki radi pojačavanja, da bi se zatim preko antene odaslali u eter.

Pitanja i odgovori

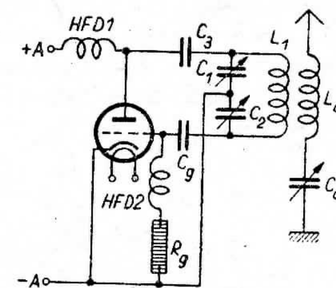
Pitanje: Što su odašiljači s elektronkama? *O.:* Naprave za proizvođenje neprigušenih titraja svih frekvencija pomoću elektronki. — *P.:* Zašto se u odašiljačkoj tehnici posebno ne naglašava selektivnost? *O.:* Zato jer se u odašiljačkoj tehnici radi s visokofrekventnim titrajima samo jedne potpuno određene frekvencije. — *P.:* O kojim se određenim frekvencijama ovdje radi? *O.:* O prijenosnim frekvencijama pojedinih odašiljača. — *P.:* Zašto se u odašiljačkoj tehnici stvaranje nadvalova ne izbjegava toliko kao u prijemnoj tehnici? *O.:* Zato, što se nadvalovi mogu sredstvima za filtriranje lako potisnuti. — *P.:* Koja je razlika između odašiljačke i prijemne elektronke? *O.:* Odašiljačka elektronka ima, zbog veće snage koju prerađuje znatno veće dimenzije elektroda nego prijemna elektronka. Uslijed toga ima veće unutarnje kapacitete i vlastite induktivitete. — *P.:* Kad govorimo o elektronki s vlastitim uzbuđenjem, a kada o elektronki sa stranim uzbuđenjem? *O.:* Ako se elektronka upotrebljava istodobno za proizvođenje titraja (oscilacija) i za davanje energije odašiljačkoj anteni, onda se radi o samouzbudnoj elektronki. Kod elektronke sa stranim uzbuđivanjem proizvode se titraji u posebnoj uzbudnoj elektronki, te se tek nakon toga dovode pravoj odašiljačkoj elektronki.

Najjednostavniji spojevi odašiljača

367. — Nije potrebno da se osvrćemo na radne uslove elektronke u samouzbudnom spoju, jer smo o tome već govorili u odsjecima 173. do 175. Ovdje ćemo objasniti osnovne praktičke spojeve odašiljača s elektronkama[76]). Spoj odašiljača s elektronkom prema *Meissneru* prikazan na sl. 132, danas se malo upotrebljava, nadomještava se jednostavnijim spojevima. Prikazat ćemo najprije općenito poznati *spoj u tri tačke* (sl. 252). Njegova karakteristika je u tome što *zavojnica titrajnog kruga ima odvojak*, to jest ima ukupno *tri* priključka. Titrajni krug L_1—C_1 spojen je s jedne strane preko kondenzatora C_2 = 200 do 500 pF na rešetku triode. Rešetkin odvodni otpor R_g za stvaranje automatskog prednapona[77]) veličine je od 2 do 200 kΩ, već prema veličini elektronke. Dio izmjeničnog napona, koji nastaje na zavojnici L_1, odvaja se na donjem kraju zavojnice *(induktivnog djelitelja napona)*, te se dovodi rešetki kao napon povratne veze. Naponi na krajevima zavojnice L_1 s obzirom na fazu su protivni. Između anodnog i rešetkinog izmjeničnog napona postoji s obzirom na katodu fazni pomak od 180°, koji je potreban za održavanje oscilacija (vidi odsjek 172). Promicanjem odvojka na zavojnici L_1 odabire se najispravniji stupanj povratne veze. Odnos (gornjeg) anodnog dijela zavojnice prema (donjem) rešetkinom dijelu mora odgovarati prohvatu elektronke. Što je manji prohvat, to manji može biti napon povratne veze, te prema tome i broj zavoja rešetkinog dijela zavojnice. Kod uobičajenih odašiljača izvodi se odvojak



Sl. 252.



Sl. 253.

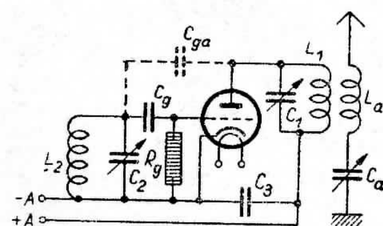
[76]) Preporučuje se da se ponovi gradivo o spojevima s povratnom vezom u odsjecima 180. do 183.

[77]) U pogonskom stanju nastaje uslijed rešetkine istosmjerne struje na odvodnom otporu odgovarajući pad napona, koji se iskorištava za rešetkin prednapon.

otprilike na $^1/_3$ ukupne dužine cijele zavojnice L_1. Ugađanje na željenu frekvenciju vrši se promjenljivim kondenzatorom C_1. Osim toga može se antenski krug L_a—C_a promjenljivim kondenzatorom C_a ugoditi na istu frekvenciju. Anodni istosmjerni napon dovodi se *paralelnim napajanjem* preko visokofrekventne prigušnice *HFD* (da se spriječi prolaz visokofrekventne izmjenične struje k izvoru anodnog napona). Izvor napona, odašiljačka elektronka (odašiljačica) i titrajni krug spojeni su međusobno p a r a l e l n o. Kondenzator C_2 odvaja anodni istosmjerni napon od titrajnog kruga L_1—C_1. Spoj u tri tačke odlikuje se jednostavnošću gradnje, ugađanja i rukovanja, a upotrebljiv je do valne dužine od nekoliko metara. U odašiljačkoj tehnici ovaj spoj rado upotrebljavaju radio-amateri. Poznat je također pod imenom *Hartleyev spoj.*

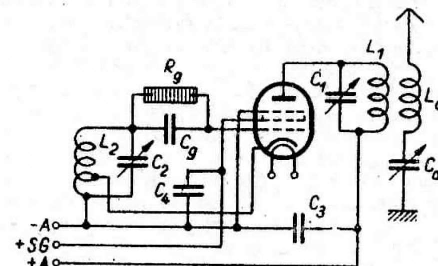
368. — Potpuno sličan spoj u tri tačke prikazan je na sl. 253, a u kratkovalnoj tehnici nazivaju ga *Colpitsovim spojem.* Napon povratne veze uzima se ovdje na odvojku *kapacitivnog djelitelja napona* C_1—C_2 (po 500 pF svaki). Uputno je i u rešetkinom krugu spojiti u seriju s odvodnim otporom R_g visokofrekventnu prigušnicu HFD_2. Time se povisuje pogonska sigurnost toga spoja. Colpitsov spoj radi još pouzdanije od Hartleyevog spoja, a ima još i tu prednost, što otpada konstruktivno teže izvođenje odvojka zavojnice.

369. — Posve je svejedno da li se povratna veza postizava induktivno, kapacitivno ili galvanski (vidi odsjek 180). No uvijek treba paziti na ispravan fazni pomak. Tako vidimo na sl. 254. *Huth-Kühnov* spoj, koji radi s *kapacitivnom povratnom vezom.* Anodni krug L_1—C_1 spojen je naime preko *kapaciteta rešetka—anoda* C_{ga} triode s rešetkinim krugom L_2—C_2. O tome smo spoju ukratko govorili u odsjeku 202. Dijeljenje napona vrši se u omjeru aktivnog otpora $\mathfrak{R}_g$ rešetkinog kruga prema otporu za izmjeničnu struju serijskog spoja $\mathfrak{R}_g$—C_{ga}. Da bi se prema tome postigao dovoljno velik napon povratne veze, mora aktivni otpor rešetkina kruga da bude velik (postizava se u slučaju rezonancije) i anodni krug mora da bude ugođen na rezonantnu frekvenciju rešetkinog kruga. Kako bi se postigla čista kapacitivna povratna veza, mora se pobrinuti da ne bude nikakve direktne kapacitivne i induktivne veze između anodnog titrajnog kruga i rešetkinog kruga. To se postizava postavljanjem zavojnica u međusobno okomit položaj ili razdjelnim limom radi zasjenjivanja. Istosmjerni anodni napon dovodimo u ovom spoju (nasuprot slučajevima na sl. 252 do 253) *serijskim napajanjem.* Izvor napona, odašiljačica i titrajni krug spojeni su u seriju. Huth-Kühnov spoj radi praktički bez nadvalova, no upotrebljava se ipak rijetko, jer mu je ugađanje vrlo kritično, te lako dolazi do preopterećenja elektronke.



Sl. 254.

370. — Među kratkovalnim amaterima osobito je omiljeo spoj *s elektronskom vezom* (sl. 255). Ovdje se istodobno radi o *spoju u tri tačke,* pri čemu z a š t i t n a r e š e t k a pentode preuzima ulogu anode. Glavna prednost ovog spoja je u tome što anodni krug *L—C* ima vrlo slabo povratno djelovanje na rešetkin krug L_2—C_2, pa se uslijed toga postizava znatno v e ć a s t a b i l n o s t f r e k v e n c i j e. Anodni krug je naime zaštitnom rešetkom odijeljen od rešetkinog kruga. Uslijed toga i eventualne promjene istosmjernog napona samo malo utječu na siguran rad ovog spoja. Ugođeni rešetkin krug L_2—C_2 spojen je između rešetke i katode, a krug povratne veze preko kondenzatora C_4 ($\approx$ 10 000 pF) i donjeg dijela zavojnice L_2 između zaštitne rešetke (koja vrši ulogu anode) i katode. Visokofrekventni titraji dovode se anodnom krugu L_1—C_1, koji služi za davanje energije odašiljačkoj anteni, samo s t r u j o m e l e k t r o n a, koji teku kroz zaštitnu rešetku do anode, i odavle potječe naziv: spoj s elektronskom vezom. Odvojak na zavojnici L_1 leži približno na $^1/_9$ do $^1/_5$ rešetkine zavojnice. Ostale vrijednosti su otprilike: C_g=2 000 pF, R_g=50 kΩ, a C_3=5 000 pF.



Sl. 255.

Ponavljanje

Kod *spoja u tri tačke* spojen je ugođeni titrajni krug između anode i rešetke triode. Napon povratne veze uzima se ili s odvojka zavojnice titrajnog kruga, koja istodobno služi za i n d u k t i v n i djelitelj napona (H a r t l e y e v spoj) ili sa srednjeg odvojka serijskog spoja dvaju promjenljivih kondenzatora, koji su spojeni paraleno zavojnici titrajnog kruga, dakle s k a p a c i t i v n o g djelitelja napona (C o l p i t s o v s p o j). U H u t h - K ü h n o v o m spoju dovodi se napon povratne veze s ugođenog anodnog titrajnog kruga na ugođeni rešetkin krug čisto kapacitivno, samo preko unutarnjeg kapaciteta elektronke, to jest preko k a p a c i t e t a a n o d a - r e š e t k a. Spoj s e l e k t r o n s k o m v e z o m radi osobito pouzdano i postojano s obzirom na konstantnost frekvencije. Ovdje se titraji proizvode u spoju u tri tačke ugođenog rešetkinog kruga pentode, pa se preko struje elektrona prenose sa zaštitne rešetke na ugođeni anodni krug. Odavle se energija odašilje u odašiljačku antenu. Zbog toga, što zaštitna rešetka djeluje zasjenjujuće, povratno djelovanje anodnog kruga na rešetkin krug vrlo je slabo.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Gdje je spojen titrajni krug u Harleyevu ili takozvanom spoju u tri tačke? *Odgovor:* Između anode i rešetkine triode. — *P.*: Odakle se ovdje uzima napon povratne veze? *O.*: Između odvojka i onog kraja zavojnice, koji je spojen na rešetku. Zavojnica djeluje kao i n d u k t i v n i djelitelj napona. — *P.*: O čemu ovisi veličina napona povratne veze? *O.*: O mjestu odvojka. Što je manji prohvat elektronke, to manji treba da je broj zavoja rešetkinog dijela zavojnice. — *P.*: Koji sličan spoj u tri tačke poznajemo? *O.*: Colpitsov spoj. — *P.*: Po čemu se taj spoj razlikuje od Hartleyeva spoja? *O.*: Napon povratne veze uzima se s k a p a c i t i v n o g djelitelja napona. — *P.*: Kako je ovaj djelitelj napona spojen? *O.*: Sastoji se od serijskog spoja dvaju promjenljivih kondenzatora, koji su spojeni paralelno titrajnom krugu. — *P.*: Koja je osobina Huth-Kühnova spoja? *O.*: Ugođen rešetkin krug vezan je s ugođenim anodnim krugom čisto kapacitivno. Kao kapacitet za vezu služi ovdje samo unutarnji kapacitet elektronke između rešetke i anode. — *P.*: Koji je spoj kratkovalnim amaterima najdraži? *O.*: Spoj s elektronskom vezom. — *P.*: Kako ovdje dolazi do oscilacija? *O.*: Pomoću običnog spoja u tri tačke u ugođenom rešetkinom krugu pentode. — *P.*: Gdje se predaje energija u odašiljačku antenu? *O.*: U ugođenom anodnom krugu. — *P.*: Kako se visokofrekventni titraji dovode anodnom krugu? *O.*: Samo strujom elektrona između zaštitne rešetke i anode. — *P.*: Koju prednost ima ovaj spoj s elektronskom vezom? *O.*: Proizvedeni titraji su vrlo postojani, budući da zaštitna rešetka odjeljuje anodni krug od rešetkina kruga.

Pitanja

172. Kako utječu razmjerno veliki unutarnji kapaciteti elektronki na način rada odašiljačke elektronke?
173. Koji je uvjet za samouzbudni rad elektronke?
174. Koja je prednost Hartleyeva spoja?

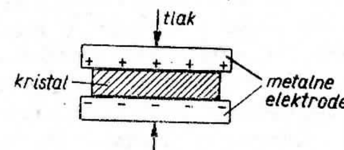
Zadaci

120. Neka odašiljačica upotrijebljena u Huth-Kühnovu spoju ima prohvat 6%, najveću strminu 3,5 mA/V i kapacitet između rešetke i anode 10 pF. Koliki mora da bude: a) faktor povratne veze, b) najmanji aktivni otpor za izmjeničnu struju u rečetkinom krugu za samouzbudni rad na frekvenciji 7 MHz?

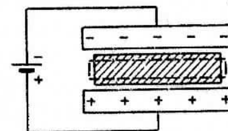
Odašiljači upravljani kvarcovim kristalom

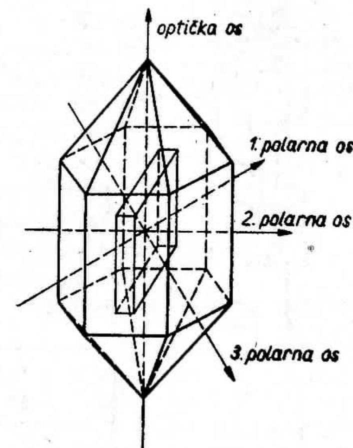
371. — Velik broj različitih odašiljača zahtijeva da se svaki od njih tačno pridržava svoje frekvencije, jer bi inače moglo doći do interferencije (miješanja) njihovih osnovnih frekvencija, čime bi prijem bio znatno ometan ili čak onemogućen (usporedi dio I, odsjek 203). Promjene frekvencije odašiljača s elektronkama nisu same po sebi velike. No ipak promjena frekvencije od 0,1% kod osnovne, prijenosne frekvencije od 1 000 kHz ($\lambda = 300$ m) predstavlja promjenu frekvencije od ± 1 kHz, a kod osnovne frekvencije 10 000 kHz ($\lambda = 30$ m) već znatniju promjenu od ± 10 kHz. Danas se od dobrog odašiljača zahtijeva konstantnost frekvencije barem 0,001%, to jest osnovni se val ne smije od svoje odre-

đene vrijednosti promijeniti za više od $1/100\,000 = 10^{-5}$. Tome odgovara kod osnovne frekvencije od 1 000 kHz promjena od ± 10 Hz. Mnogi odašiljači rade s još većom stalnošću frekvencije. Danas je moguće graditi odašiljače kojih tačnost frekvencije dostiže $1/100\,000\,000 = 10^{-8}$. Tako je na primjer fizikalno-tehnički institut u Berlinu izgradio nekoliko oscilatora koji n i s u c i j e l u g o d i n u p r e k o r a č i l i pogrešku od $\pm 2 \cdot 10^{-8}$. Ovi se oscilatori upotrebljavaju kao takozvani *satovi s kvarcom*, koji rade s tačnošću od 1/1 000 sek/dan. Satovi s kvarcom omogućuju još tačnije



Sl. 256.


Sl. 257.

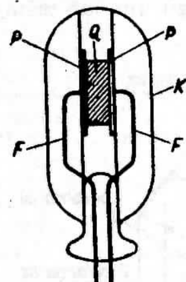


Sl. 258.

određivanje vremena nego astronomski postupci. Sada se može čak i to ispitati da li se Zemlja zbilja okreće tako jednoliko kako astronomi vjeruju. Jasno je da se tolika tačnost mjerenja, za koju se ranije nije ni slutilo, mogla postići jedino upotrebom specijalnih sredstava, naime upotrebom *titrajnih kristala* umjesto običnih električkih titrajnih krugova.

372. — Upoznajmo se ukratko najprije s tom pojavom *titranja kristala*. Odavno je poznato da na plohama izvjesnih, prikladno rezanih kristala, nastaju električki naboji, ako se ti kristali izvrgnu pritisku ili savijaju u određenom smjeru (sl. 256). Ovu pojavu nazivamo *piezoelektričkim efektom* (grčki: *piezein* = *tiskati*). No taj se efekt može i obrnuti: ako se na plohe piezoelektričnog kristala dovede električki napon, onda se kristal produžuje (deformira) ili skraćuje u određenim smjerovima kristala (sl. 257). Ta se pojava naziva *elektrostrikcija* (od lat. riječi stringere = stezati) ili *recipročni piezoelektrički efekt.* Sve ove pojave opažaju se ne samo na *kvarcu* (kremenom kristalu), nego i na turmalinu, Seignettovoj soli, kremenocinkovoj rudači, cinkovom blistavcu, na sirovom šećeru itd. *Kvarcov kristal* dolazi u prirodi u obliku šesterostrane prizme s piramidnim nastavcima i pripada heksagonalnom kristaliničnom

sistemu (sl. 258). On ima prema tome *optičku os* (glavnu os) i tri sporedne osi, koje su na ovu okomite i međusobno zakrenute za 120°. Samo ove potonje pokazuju piezoelektrički efekt. Izrežemo li iz kvarcovog kristala tanku pločicu, tako da su velike stranice okomite na jednu od sporednih osi, dobivamo pločicu s opisanim piezoelektričkim svojstvima.



Sl. 259.

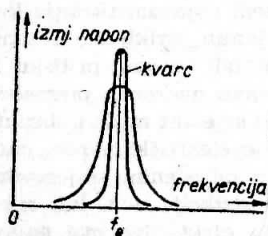
373. — Dovedemo li na kvarcovu pločicu umjesto istosmjernog (kao na sl. 257) *izmjenični napon*, pobudit će se pločica na *mehaničko titranje*, pri čemu frekvencija ovisi samo o unutarnjoj građi i dimenzijama kristala, a ne o frekvenciji dovedenog izmjeničnog napona. U slučaju da je frekvencija izmjeničnog napona baš jednaka v l a s t i t o j f r e k v e n c i j i titranja kvarcovog kristala, bit će amplitude titraja kristala osobito velike, jer ovdje dolazi do oštro istaknute *pojave rezonancije*. Vlastita frekvencija kristala (frekvencija uzdužnog titranja) može se za svaki piezoelektrički kristal izračunati prema ovoj formuli:

$$f_0 = \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{E}{\gamma}}\ [\text{Hz}] \qquad (78)$$

Ovdje d označuje debljinu pločice u [cm], E = modul elasticiteta $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$ i γ = specifična težina u $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$. Za kvarc: $E = 7{,}86\cdot 10^{11}\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ $\gamma = 2{,}65$ kg/dm³, tako da slijedi:

$$f_0 = \frac{273\,000}{d}\ [\text{Hz}] \qquad (79)$$

Prema tome pločica kvarcovog kristala debljine 1 mm = 0,1 cm ima vlastitu frekvenciju 2,73 MHz, odnosno vlastitu dužinu vala oko 110 m. K v a r c o v e s e p l o č i c e mogu potrebljavati do dužine vala od 7 m. Za još manje dužine vala od 1 m dolaze u obzir turmalinske pločice.

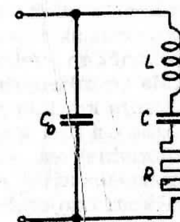


Sl. 260.

374. — Na sl. 259. prikazan je praktički primjer ugradnje kvarcovog kristala. Kvarcova pločica Q nalazi se među posrebrenim pločicama kondenzatora P, koje su pomoću opruga F slabo pritisnute (50 g) na pločicu. Opruge ujedno služe za dovođenje napona. Cijeli uređaj smješten je u zrakoprazni stakleni balon, da se ukloni utjecaj zraka. Budući da je

vlastita frekvencija titranja kristala u maloj mjeri ovisna i o temperaturi, stavlja se staklena cijev s kvarcovom pločicom, u slučaju da se traži osobita tačnost frekvencije, u takozvani *termostat*[78]). To je toplinski izolirana posuda, u kojoj se temperatura električkim putem podržava na stalnoj visini.

375. — Prigodom uzbuđivanja na titranje vanjskim izmjeničnim naponom uzrokuje kvarcova pločica uslijed piezoelektričkog djelovanja dodatne naboje na pločama kondenzatora. Ovi promjenljivi naboji, koji se mijenjaju u ritmu mehaničkog titranja kristala, predstavljaju e l e k t r i č k o t i t r a n j e, dakle izmjenični napon. Piezoelektrički kristal smješten među ploče knodenzatora ponaša se dakle tačno kao *električki titrajni krug s vrlo malenim prigušenjem*. Kvarcovim kristalom može se postići veća *oštrina* rezonancije nego s bilo kakvim električkim titrajnim krugom. Snimimo li rezonantnu krivulju kvarcovog kristala, dobit ćemo sl. 260. na kojoj je za usporedbu ucrtana i rezonantna krivulja dobrog električkog titrajnog kruga. Budući da kristal koji titra može nadomjestiti električki titrajni krug, može se za nj nacrtati n a d o m j e s n a s h e m a kao na sl. 261. Kvarcov kristal se ponaša kao serijski spoj induktiviteta L, kapaciteta C, i omskog otpora R, kojima je paralelno spojen kapacitet pločica kondenzatora C_0, koje drže kristal. Oštrina rezonancije $\varrho = \omega_0 L/R$ titrajnog kruga, koji se sastoji od L, C i R, doseže 3 000 i više, a otpor za izmjeničnu struju iznosi u slučaju rezonancije i do 20 kΩ.



Sl. 261.

Ponavljanje

Zbog toga što su odašiljači s obzirom na dužinu vala gusto smješteni, mora se svaki odašiljač što tačnije pridržavati određene osnovne frekvencije. Od razglasnih odašiljača zahtijeva se minimalna tačnost od 10^{-5}. Upotrebom t i t r a j n i h k r i s t a l a može se postići tačnost frekvencije do 10^{-8}. Pritiskom ili savijanjem kristala u određenim smjerovima stvaraju se na njegovim plohama električki naboji. Ovu pojavu nazivamo p i e z o e l e k t r i č k i m e f e k t o m. Obratno, ako se kristal nalazi u promjenljivom električkom polju, skratit će se ili produžiti dimenzije kristala u određenim smjerovima. To je r e c i p r o č n i p i e z o e l e k t r i č k i e f e k t ili e l e k t r o s t r i k c i j a. Kvarcov kristal ima jednu optičku (glavnu) osovinu i tri polarne (sporedne) osovine. Piezoelektrička pojava nastaje samo u smjeru polarnih osovina. Dovede li se na prikladno izrezanu kvarcovu pločicu izmjenični napon, pobudit će se pločica na mehaničko titranje, pri čemu će amplitude biti najveće onda, kad je frekvencija izmjeničnog napona jednaka vlastitoj frekvenciji titranja kvarcove pločice. Za vlastitu frekvenciju titranja bilo kojeg

[78]) Danas se grade i *otvoreni kvarcovi kristali*, koji zbog osobitog reza ne pokazuju gotovo nikakove promjene uslijed promjene temperature ili promjene pritiska zraka.

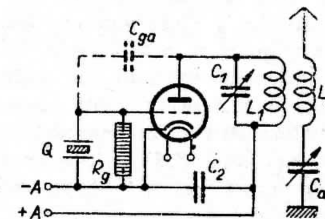
piezoelektričkog kristala vrijedi jednadžba: $f_0 = [1/(2d)] \cdot \sqrt{E/\gamma}$ [Hz], d = debljina pločice u [cm], E = modul elastičnosti u [kg/cm^2], γ = specifična težina u [kg/dm^3]. Za kvarcovu pločicu vrijedi: $f_0 = 273\,000/d$ [Hz]. Vlastita frekvencija kristalne pločice može se držati konstantnom, ako se kristalna pločica smjesti u zrakoprazni (evakuiarni) stakleni balon, a ovaj opet u termostat. Piezoelektrički kristal se ponaša kao električki titrajni krug s vrlo malenim prigušenjem. Oštrina rezonancije je tako velika, kao ni u jednom drugom električkom titrajnom krugu.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kojom tačnošću frekvencije rade razglasni odašiljači? *O.:* S tačnošću frekvencije većom od 10^{-5}. — *P.:* Kako se mogu ovako velike tačnosti frekvencije postići? *O.:* Upotrebom titrajnih kristala. — *P.:* Što je piezoelektrički kristal? *O.:* To je prikladno rezani kristal, kojem se plohe nabiju električki, ako se u izvjesnom smjeru na njega vrši pritisak ili savijanje. — *P.:* Što razumijevamo pod recipročnim piezoelektričkim efektom? *O.:* Obrat piezoelektričkog efekta; dimenzije kristala se mijenjaju uslijed promjenljivog električkog polja. — *P.:* Koja se titranja kristala praktički iskorištavaju? *O.:* Uzdužna titranja. — *P.:* Koje važne osi ima kvarcov kristal? *O.:* Jednu optičku (glavnu) os i tri polarne (sporedne) osi. — *P.:* Što je polarna os? *O.:* Os, u smjeru koje se očituje priezoelektrički efekt. — *P.:* Kako se ponaša kvarcova pločica u električkom izmjeničnom polju? *O.:* Ona se pobuđuje na mehaničko titranje. — *P.:* Kad je to titranje najjače? *O.:* Tada, kada je frekvencija dovedenog izmjeničnog napona jednaka vlastitoj frekvenciji kvarcove pločice. — *P.:* O čemu ovisi frekvencija titranja kristala? *O.:* O debljini, modulu elastičnosti i specifičnoj težini kristalne pločice. — *P.:* Kako se može ukloniti slab utjecaj pritiska zraka i temperature na vlastitu frekvenciju titranja kristala? *O.:* Kristalna pločica stavlja se u zrakoprazan (evakuiran) stakleni balon, a ovaj opet u termostat. — *P.:* Zašto se titrajni kristal ponaša kao električki titrajni krug? *O.:* Zato što se uslijed mehaničkog titranja na plohama kristala kao posljedica piezoelektričkog djelovanja stvara promjenljivi izmjenični naboj. — *P.:* Što je ovdje vrlo značajno? *O.:* Prigušenje električkih titraja koje podržava titrajni kristal vrlo je maleno. — *P.:* Koja se oštrina rezonancije može time postići? *O.:* Oštrina rezonancije od 3 000, pa i više.

376. — Proučit ćemo nekoliko primjera odašiljača s elektronkama, u kojima se kvarcov kristal upotrebljava za uzbuđivanje visokofrekventnih titraja. Takvi se odašiljači s elektronkama nazivaju također *oscilatorima s kvarcom*. Na sl. 262. prikazan je *Huth-Kühnov spoj uzbuđivan kvarcom* (usporedi odsjek 369 i sl. 254). Umjesto rešetkinog titrajnog kruga ovdje je upotrijebljen kvarcov kristal Q smješten među pločice kondenzatora. Rešetkin odvodni otpor R_g = 10 do 100 kΩ (već prema prohvatu elektronke) služi za odvođenje istosmjerne struje, do koje dolazi u pogonskom stanju, i istodobno za automatsko stvaranje rešetkinog prednapona (vidi odsjek 367). U anodnom krugu se nalazi ugođen titrajni krug L_1—C_1, koji je preko unutarnjeg kapaciteta elektronke C_{ga} između rešetke i anode vezan s rešetkinim krugom. Ugodi li se anodni titrajni krug L_1—C_1 promjenljivim kondenzatorom C_1 na vlastitu frekvenciju kristala, počet će kristal m e h a n i č k i titrati. E l e k t r i č k i titraji

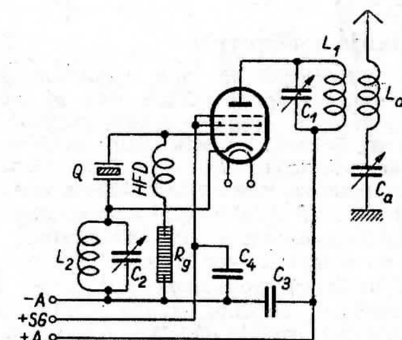
kvarcovog kristala koji nastanu na taj način (vidi odsjek 375), mijenjanju pomoću rešetke anodnu struju elektronke u rimtu vlastitog titranja. Time će titrajni krug L_1—C_1 biti pobuđen na jače titranje, koje će opet preko kapaciteta rešetka-anoda povratno djelovati na rešetkin krug i ovaj pobuđivati na još jače tiranje. Amplitude titranja ne smiju suviše narasti, jer bi inače kristal zbog prejakog mehaničkog titranja pukao. To ograničuje energiju visokofrekventnih titraja na n e k o l i k o v a t a, što dostaje i za upravljanje većih izlaznih stupnjeva odašiljača. Traži li se veća energija, moraju se uklopiti međustupnjevi visokofrekventnog pojačala.



Sl. 262.

Stabilnost frekvencije opisanog spoja velika je. Frekvencija će se v r l o m a l o promijeniti mijenjanjem kapaciteta C_1, budući da kristal može titrati samo na svojoj vlastitoj frekvenciji. Ako se promjenom kapaciteta C_1 dođe izvan rezonancije, smanji se izlazna snaga, dok pri većim promjenama ispadne kristal iz oscilacija.

377. — Upotrebom p e n t o d e može se znatno povisiti izlazna snaga oscilatora. Na sl. 263. vidimo spoj odašiljača s elektronkom, u kojem se *uzbuđivanje vrši kvarcovim kristalom s elektronskom vezom*. Taj spoj vrlo je sličan spoju na sl. 255. Povratno djelovanje titrajnog kruga L_2—C_2 na kristal izvodi se ovdje na način H u t h - K ü h n o v a spoja, dok se energija titranja na anodni titrajni krug L_1—C_1 prenosi »elektronskom vezom« (vidi odsjek 370). Zbog sigurnijeg pogona potrebno je titrajni krug L_2—C_2 ugoditi na nešto višu frekvenciju nego što je vlastita frekvencija kristala. Anodni titrajni krug L_1—C_1 može se ugoditi bilo na vlastitu frekvenciju kristala, bilo na koji od njegovih nadvalova (važno za umnažanje frekvencija, vidi odsjek 382). Da bi se postigla veća izlazna snaga, potrebno je treću i drugu rešetku spojiti na pozitivni napon, koji je nešto niži nego obično, da pentoda ne bi bila preopterećena. Uobičajene su ove vrijednosti: R_g = 20 do 100 kΩ, C_3 = 5 000 pF i C_4 = 10 000 pF.



Sl. 263.

378. — Uzbuđivanjem kristalom može se primijeniti i u drugim spojevima odašiljača s elektronkama. Nedostatak uzbuđivanja kristalom je u tome, što se on može upotrijebiti za proizvođenje samo jedne potpuno

određene frekvencije, naime vlastite frekvencije kvarcovog kristala. To može biti neugodno u pogonu amaterskih kratkovalnih odašiljača, gdje je često poželjan prijelaz na neku drugu frekvenciju, na primjer u slučaju jakih smetnji na upotrebljavanoj frekvenciji. Ima spojeva odašiljača s elektronkama koji upotrebljavaju spoj elektronske veze s kristalom i bez njega. Osim toga postoje takozvani *vario-kvarci* (promjenljivi kristali) kod kojih se male promjene vlastite frekvencije mogu postići promjenom razmaka elektroda kondenzatora, među kojima se nalazi kristal. Spomenuta slaba strana nadoknađuje se mnogim prednostima koje odašiljač ima zbog svoje velike stabilnosti frekvencije. Ako je poželjna znatnija promjena frekvencije, mora se kvarcov kristal zamijeniti drugim.

Ponavljanje

Oscilatori s kvarcom su spojevi odašiljača s elektronkama, kod kojih je rešetkin titrajni krug nadomješten kvarcovim kristalom koji se nalazi među opločama kondenzatora. Kod uzbuđivanja kvarcovim kristalom mehanički titraji kristala uzrokuju električke titraje na njegovim plohama, a ovi električki titraji uzbuđuju anodnu struju odašiljača s elktronkom u ritmu vlastite frekvencije kristala. Titraji kvarcovog kristala ne smiju uslijed povratne veze suviše porasti, da kristal ne bi pukao. Izlazna snaga oscilatora s kristalom iznosi nekoliko vata. Veće se snage mogu postići pomoću pentoda. Odašiljači s elektronkama uzbuđivani kvarcovim kristalom imaju tu slabu stranu da su upotrebljivi samo za proizvođenje jedne određene frekvencije. Ako se želi promijeniti frekvencija, mora se kristal zamijeniti kristalom s vlastitom odgovarajućom frekvencijom. »Vario-kvarci« omogućuju samo malu promjenu frekvencije.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koju smo praktičku primjenu piezoelektričkog kristala upoznali? *Odgovor:* Uzbuđivanje odašiljača s elektronkama pomoću kvarca. — *P.:* Koja je osobita značajka oscilatora s kvarcom? *O.:* Uobičajeni električki rešetkin titrajni krug nadomješten je piezoelektričkim kvarcovim kristalom. — *P.:* Kako djeluje kvarcov kristal? *O.:* Kao posljedica njegovih mehaničkih titraja nastaju električki titraji, koji se iskorištavaju za uzbuđivanje anodne struje odašiljačke elektronke u ritmu vlastite frekvencije titranja kristala. — *P.:* Zašto oscilator s kvarcom ne može davati veće energije? *O.:* Zato što se kristal od prejakih mehaničkih titraja može raspuknuti. — *P.:* Kako utječe na proizvedene titraje razgođenje anodnog kruga oscilatora uzbuđivanog kristalom u Huth-Kühnovom spoju? *O.:* Dolazi samo do smanjenja izlazne snage, a skoro ni do kakve promjene u frekvenciji. — *P.:* U čemu se razlikuje potencijal katode u Huth-Kühnovom spoju s kvarcom od potencijala katode oscilatora s elektronskom vezom, koji se uzbuđuje kristalom? *O.:* U prvom slučaju potencijal katode je nula, dok u drugom slučaju ima visokofrekventni napon prema minus-polu, jer u katodnom krugu leži titrajni krug L_2—C_2. — *P.:* Kako se može postići promjena frekvencije odašiljača? *O.:* Kvarcov kristal mora se zamijeniti drugim s odgovarajućom vlastitom frekvencijom. — *P.:* O kojim smo još sredstvima za promjenu frekvencije govorili? *O.:* O »vario-kvarcima«, koji omogućuju samo malu promjenu frekvencije.

Pitanja

175. Koje smo spojeve odašiljača s elektronkama dosada proučili?

176. Zašto se odašiljači moraju tačno pridržavati frekvencija koje su im dodijeljene?

177. Kako izgleda nadomjesna shema titrajnog kristala?

178. Kako je moguće povisiti izlaznu snagu oscilatora s kvarcom?

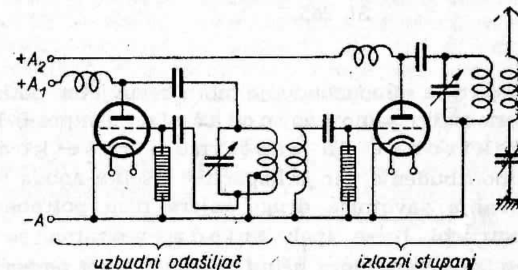
Zadaci

121. Kolika je debljina ploče kvarcovog kristala koji ima vlastitu frekvenciju 800 kHz?

122. Neki kvarcov kristal ponaša se kao serijski spoj induktiviteta 5 H, kapaciteta 0,005 pF i omskog otpora 10 kΩ: a) Kolika je vlastita frekvencija kristala? b) Koliki je rezonantni otpor? c) Kolika je oštrina rezonancije? d) Koliki je logaritmički odnos prigušenja?

Odašiljač sa stranim uzbuđivanjem

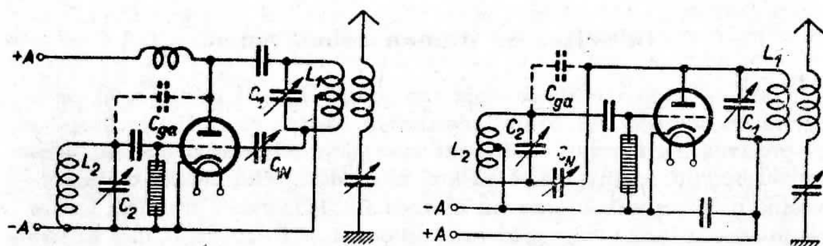
379. — Kod odašiljača koje smo dosad opisali radilo se o *samouzbudnim odašiljačima,* to jest odašiljačka elektronka služila je istodobno za proizvođenje titraja i odašiljanje energije u odašiljačku antenu. Mana samouzbudnih odašiljačka je da kod njih odašiljačka antena djeluje povratno na proizvedenu osnovnu frekvenciju. Pri svakoj promjeni opterećenja odašiljačkog titrajnog kruga, koji određuje frekvenciju, ili pri njihanju antene uslijed vjetra, mijenja se i osnovna frekvencija. Ove promjene frekvencije ne mogu se kod većih samouzbudnih odašiljača ukloniti upotrebom kvarca, budući da kvarcov kristal podnosi samo mala opterećenja (vidi odsjek 376). Zbog toga se veći odašiljači, a pogotovo razglasni, grade kao odašiljači *sa stranim uzbuđivanjem.* Titraji prijenosne frekvencije proizvode se u posebnom *uzbudnom odašiljaču* (koji se najčešće uzbuđuje kvarcovim kristalom), i tek tada se dovode preko visokofrekvenog pojačala do izlazne elektronke odašiljača (vidi odsjek 366). Samouzbuđivani odašiljač, koji kao uzbudni određuje frekvenciju, dovoljno je da radi s posve malenom snagom, dovoljnom da privedena rešetki uzbuđuje glavni odašiljač. Upotrebom više stupnjeva visokofrekventnog pojačala poslije uzbudnog odašiljača mogu se postići vrlo velike snage (do više stotina kilovata), a da se ne osjećaju nedopuštene promjene u frekvenciji. Rukovanje stranouzbudnim odašiljačem teže je



Sl. 264.

nego sa samouzbudnim. Na sl. 264. prikazana je osnovna shema jednostavnog stranouzbudnog odašiljača. *Uzbudni odašiljač* građen je (kao na sl. 252) u spoju u tri tačke s induktivnim djeliteljem napona. Izmjenični napon proizveden u oscilatoru prenosi se induktivnom vezom do uzbudne rešetke *glavnog odašiljača*. U glavnom odašiljaču dolazi do pojačavanja titraja proizvedenih u oscilatoru i do odašiljanja energije u odašiljačku antenu. Uzbudni odašiljač i glavni odašiljač rade u ovom slučaju s paralelnim napajanjem (vidi odsjek 367).

380. — Promotrimo li pomnije glavni odašiljač na sl. 264. vidjet ćemo da se ovdje zapravo radi o Huth-Kühnovu spoju (vidi sl. 254). To je samo po sebi vrlo nepoželjno, jer kapacitet odašiljačke elektronke između rešetke i anode može dovesti do samouzbuđenja glavnog odašiljača, budući da rešetkin krug i anodni krug rade na istoj frekvenciji.



Sl. 265. *Sl. 266.*

Ovakvo se samouzbuđenje mora bezuvjetno potisnuti, jer glavni odašiljač mora raditi samo kao p o j a č a l o, a nipošto kao oscilator. Upotrebom e l e k t r o n k e s a z a š t i t n o m r e š e t k o m umanjuje se opasnost samouzbuđenja, jer je kapacitet rešetka-anoda vrlo malen, te osim zasjenjivanja zavojnica druge mjere nisu potrebne (usporedi odsjek 202). upotrijebi li se ipak t r i o d a, povratna se veza preko kapaciteta rešetka-anoda mora učiniti neškodljivom pomoću *neutralizacije.* Kako se to može izvesti, prikazano je na sl. 207. S anodnog titrajnog kruga L_1—C_1 (sl. 265) uzima se pomoćni izmjenični napon i preko malog promjenljivog kondenzatora (neurodona) C_N dovodi rešetki odašiljačke elektronke. Ako je pomoćni napon isto tako velik kao napon, koji se prenosi preko kapaciteta rešetka-anoda C_{ga}, onda će se oba izmjenična napona, budući da su u protufazi, kompenzirati (poništiti), pa do samouzbuđenja neće doći. Kad se pomoćni izmjenični napon uzima s a n o d n o g k r u g a govorimo o *anodnoj neutralizaciji.* Moguće je također pomoćni izmjenični napon uzeti s r e š e t k i n o g k r u g a (sl. 266). Tada imamo slučaj *rešetkine neutralizacije,* koja po djelovanju potpuno odgovara anodnoj neutralizaciji, samo što su ovdje anoda i rešetka zamijenile svoje uloge.

Ponavljanje

Veliki samouzbudni odašiljači imaju tu manu da bilo koja promjena opterećenja titrajnog kruga, koji određuje frekvenciju, uslijeđuje promjenom prijenosne frekvencije. Zato se razglasni odašiljači ili općenito svi veći odašiljači grade kao odašiljači sa s t r a n i m u z b u đ i v a n j e m. Oni se sastoje od samouzbuđenog uzbudnog odašiljača male snage, koji određuje frekvenciju, i više stupnjeva visokofrekventnog pojačala (glavni odašiljač). U glavnom se odašiljaču male titrajne amplitude primljene od uzbudnog odašiljača pojačavaju do poželjne konačne vrijednosti. Sve triode u kojima rešetkini i anodni krugovi rade na istoj frekvenciji, moraju biti neutralizirane, kako bi se otklonila opasnost od nepoželjnog samouzbuđivanja. U elektronkama sa zaštitnom rešetkom to nije potrebno, jer je kapicitet rešetka-anoda vrlo malen. Prema tome da li protufazni izmjenični napon potreban za neutralizaciju uzimamo s anodnog ili rešetkinog kruga, razlikujemo a n o d n u i r e š e t k i n u n e u t r a l i z a c i j u. Da se spriječi samouzbuđenje, mora pomoćni izmjenični napon biti jednak izmjeničnom naponu povratne veze preko kapaciteta rešetka-anoda.

Pitanja i odgovori

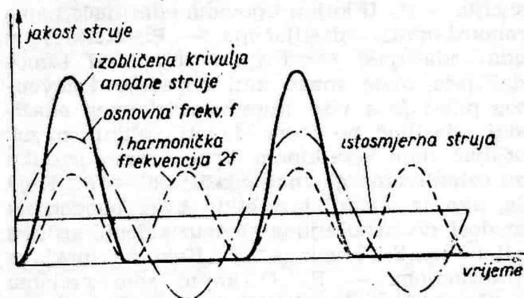
Pitanje: Koje su mane većih samouzbudnih odašiljača? *Odgovor:* Mijenja se prijenosna frekvencija, ako se promijeni opterećenje titrajnog kruga koji određuje frekvenciju. — *P.:* U kojim tipovima odašiljača nema tog nedostatka? *O.:* U stranouzbudnim odašiljačima. — *P.:* Kako je u načelu građen stranouzbudni odašiljač? *O.:* On se sastoji od samouzbuđivanag uzbudnog odašiljača male snage koji određuje frekvenciju, i od visokofrekventnog pojačala s više stupnjeva (glavnog odašiljača). — *P.:* Zašto uzbudni odašiljač ne mora davati veliku snagu? *O.:* Zato, što uzbudni odašiljač daje rešetkinom krugu samo onoliku snagu, kolika je dovoljna za uzbuđivanje glavnog odašiljača. — *P.:* Koja opasnost postoji kod trioda, ako je anodni i rešetkin krug ugođen na istu frekvenciju? *O.:* Može doći do nepoželjnog samouzbuđenja uslijed povratne veze preko kapaciteta rešetka-anoda. — *P.:* Kako se sprečava samouzbuđenje? *O.:* Neutralizacijom. — *P.:* O kojim smo vrstama neutralizacije govorili? *O.:* O anodnoj i rešetkinoj neutralizaciji. — *P.:* Na čemu se osniva djelovanje ovih dvaju spojeva? *O.:* Izmjenični napon povratne veze prenesen preko kapaciteta rešetka-anoda poništava se jednim isto tako velikim izmjeničnim naponom protivne faze, koji se uzima s anodnog ili rešetkinog kruga.

Umnažanje frekvencija

381. — Dosada smo govorili o odašiljačima s elektronkama u *izravnom spoju* u kojem su svi stupnjevi odašiljača radili na i s t o j frekvenciji. Često se upotrebljava *umnažanje frekvencija.* U tom postupku su visokofrekventni stupnjevi pojačala glavnog odašiljača ugođeni ne na frekvenciju *f* uzbudnog odašiljača (oscilatora), nego na prvi nadval 2*f* ili na više cjelobrojne nadvalove 3*f*, 4*f* itd. U tom slučaju govorimo *o udvostručivanju, utrostručivanju, učetvorostručivanju fre-*

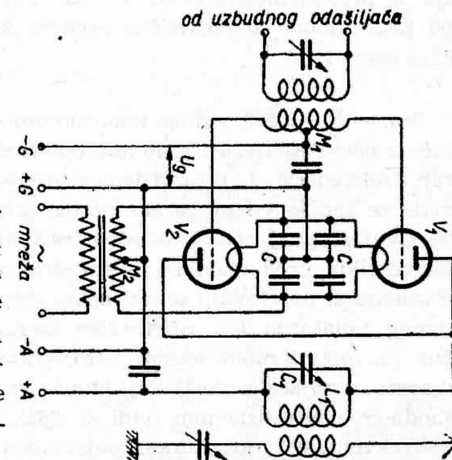
kvencije. Umnažanje frekvencije ima razne prednosti. U prvom redu neutralizacija postaje suvišna i pri upotrebi trioda u visokofrekventnom pojačalu, ako su anodni i rešetkini krugovi ugođeni na različite frekvencije (usporedi odsjek 380). Najveću korist od umnažanja frekvencija imamo kod k r a t k o v a l n i h o d a š i l j a č a. Kvarcovi kristali kod valnih dužina od 80 m na niže tako su tanki (usporedi odsjek 373 i jedn. 79) da mogu podnijeti tek slaba opterećenja. Zato je za proizvođenje još kraćih valnih dužina odnosno viših frekvencija svrsishodno osnovnu frekvenciju kvarcovog kristala u uzbudnom odašiljaču ili u jednom od visokofrekventnih stupnjeva pojačala udvostručiti, odnosno uvišestručiti. Tako na primjer može kristalom uzbuđivan oscilator raditi na dužini vala od 80 m, koja se udvostručivanjem može svesti na 40 m ili učetvorostručivanjem (dvostrukim udvostručivanjem) na 20 m. Glavni odašiljač je tada ugođen na 40, odnosno na 20 m.

382. — Nadvalovi nastaju uslijed jakog *izobličenja* anodne struje u odgovarajućem stupnju odašiljača. Elektronka dobije tako veliki negativni rešetkin prednapon i dobiva tako velike izmjenične napone na rešetki (čvrstom vezom oscilatora), da se radna tačka elektronke pomakne na d o n j e k o l j e n o karakteristike (usporedi odsjek 103 i sl. 77). Iz brojnih ranijih razlaganja znamo da u tom slučaju dolazi do jakih nelinearnih izobličenja. Svaki izobličeni titraj može se rastaviti u jedan neizobličeni osnovni titraj i neizobličene nadtitraje dvostruke, trostruke itd. frekvencije (vidi odsjek 109). Tako izobličena krivulja anodne struje prikazana na



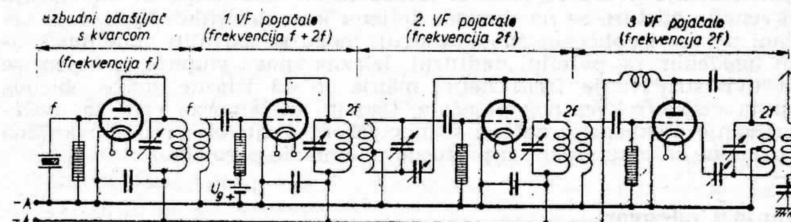
Sl. 267.

sl. 267. osim istosmjerne struje sadržava u prvom redu osnovni titraj f i prvi nadtitraj (drugi harmonički) $2f$. Viši nadtitraji ovdje nisu uzeti u obzir. Izlazna snaga stupnja, u kom se vrši uvišestručivanje frekvencije, otprilike napola je manja od izlazne snage izlaznog stupnja visokofrekventnog pojačala, jer su amplitude nadtitraja znatno manje od amplituda osnovnog titraja. Za istu izlaznu snagu potrebno je prema tome pri uvišestručivanju frekvencije više stupnjeva nego pri izravnom pojačavanju. Izdvajanje poželjnog nadtitraja prijenosne frekvencije iz mješavine titraja obavlja se ugađanjem a n o d n o g titrajnog kruga odgovarajućeg stupnja uvišestručivanja na frekvenciju poželjnog nadtitraja (rezononantno djelovanje). R e š e t k i n krug ovog stupnja ugođen je na osnovni titraj. Ovaj se postupak može s najboljim uspjehom primijeniti na primjer u spoju odašiljača s elektronkom uzbuđivanom kvarcovim kristalom s elektronskom vezom prema sl. 263. Umnažanjem frekvencije moguće je isti kvarcov kristal upotrijebiti za v i š e odašiljačkih frekvencija.



Sl. 268.

383. — Na sl. 268. prikazan je spoj udvostručivanja frekvencije s osobito dobrim stupnjem djelovanja. Obje uzbudne rešetke elektronki V_1 i V_2 spojene su u p r o t u s p o j u, a anode su spojene p a r a l e l n o. Uzbudne rešetke dobivaju iz oscilatora izmjenični napon s faznim pomakom od 180°. Negativni prednapon U_g dovodi se obim uzbudnim rešetkama preko srednjeg odvojka M_1 zavojnice rešetkinog kruga, i tako je visok da obje odašiljačice rade na donjem koljenu karakteristike. Budući da su anode spojene paralelno, pojavljuju se u anodnom krugu o b j e polovice vala ispravljenog rešetkinog izmjeničnog napona, to jest



Sl. 269.

d v o s t r u k i broj impulsa anodne struje (protivno nego na sl. 267). To odgovara d v o s t r u k o j f r e k v e n c i j i rešetkinih izmjeničnih napona. Anodni titrajni krug L_1—C_1 ugođen je na tu (dvostruku) frekvenciju. Osnovni val se uslijed paralelnog spoja obiju anoda u anodnom krugu uopće ne pojavljuje. Odnosi su ovdje slični kao kod ranije opisanog jednotaktnog, odnosno dvotaktnog ispravljanja (vidi odsjeke 15 i 18). Izlazna snaga ovog spoja tako je velika da se anodni krug L_1—C_1 može vezati direktno na odašiljačku antenu, pa je dodavanje još jednog visokofrekventnog stupnja pojačala nepotrebno. U opisanom spoju rade elektronke s direktnim žarenjem. Srednji odvojak M_2 transformatora za

žarenje spojen je kao i u spojevima za prijemnike zbog uklanjanja brujanja s priključnicama $-A$ i $+G$. Pomoću kondenzatora $C-C$ (po 5 000 pF) dobiva se električka sredina žarne niti za visokofrekventne titraje (simetrija).

384. — Na sl. 269. vidimo konačno osnovnu sliku *stranouzbudnog odašiljača s više stupnjeva* i s dosada opisanim spojevima. Visokofrekventni titraji frekvencije f proizvedeni u *oscilatoru s kvarcom* (vidi sl. 262) dovode se induktivnom vezom *prvom stupnju visokofrekventnog pojačala*. Ovaj stupanj radi kao *udvostručivač frekvencije*, te dobiva dosta velik rešetkin prednapon U_g. Visokofrekventni titraji dovedeni tako na frekvenciju $2f$ pojačavaju se u *drugom stupnju pojačala*, koje radi u spoju izravnog pojačanja i s rešetkinom neutralizacijom (vidi sl. 266). Konačno se induktivnom vezom titraji dovode na *treći stupanj visokofrekventnog pojačala*. Posljednji stupanj radi u spoju izravnog pojačanja s anodnom neutralizacijom (vidi sl. 265). Ovdje se visokofrekventni titraji frekvencije $2f$ još jednom pojačavaju i predaju odašiljačkoj anteni.

Ponavljanje

Stupnjevi visokofrekventnog pojačala glavnog odašiljača u slučaju u m n a ž a n j a f r e k v e n c i j e ne rade na frekvenciji f uzbudnog odašiljača, nego na cjelobrojnim nadtitrajima frekvencija $2f$, $3f$, $4f$ itd. U onom stupnju pojačala, u kojem su rešetka i anodni titrajni krug ugođeni na različite frekvencije, nije potrebna neutralizacija. Osim toga mogu se u slučaju daljnjeg uvišestručivanja frekvencije u oscilatoru upotrijebiti deblje kvarcove pločice. Radna tačka elektronke za umnažanje frekvencije odabire se na donjem koljenu karakteristike. Nadtitraji sadržani u jako izobličenoj anodnoj struji mogu se izdvojiti anodnim krugom ugođenim na poželjni nadtitraj. Izlazna snaga stupnja, u kojem se vrši uvišestručivanje frekvencije, manja je od izlazne snage običnog stupnja visokofrekventnog pojačala. Osobito djelotvoran spoj za uvišestručivanje frekvencije dobiva se upotrebom dviju elektronki u kojima su uzbudne rešetke vezane u protuspoju, a anode paralelno.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kakvi su odnosi frekvencija u odašiljaču koji radi s umnažanjem frekvencija? *Odgovor:* Uzbudni odašiljač radi na osnovnoj frekvenciji f, a stupnjevi VF pojačala odašiljača rade na jednom od nadtitraja frekvencije $2f$, $3f$, $4f$ itd. — *P.:* Koje su prednosti time postignute? *O.:* Nije potrebno da stupnjevi visokofrekventnog pojačala, kod kojih anodni i rešetkini krugovi rade na različitim frekvencijama, budu neutralizirani. Nadalje, mogu se u uzbudnom odašiljaču upotrijebiti deblje kvarcove pločice. — *P.:* Kako se može postići umnažanje frekvencije? *O.:* Jakim izobličenjem anodne struje elektronke za umnažanje frekvencije. Radna tačka mora ležati u donjem koljenu karakteristike. — *P.:* Kako uslijed toga nastaju nadtitraji? *O.:* Izobličena anodna struja sadrži osim osnovnog titraja još čitav niz cjelobrojnih nadtitraja. — *P.:* Kako se izdvoji ž e l j e n i nadtitraj? *O.:* Pomoću odgovarajućeg titrajnog kruga. — *P.:* Koja je mana umnažanja frekvencije? *O.:* Izlazna snaga stupnja za umnažanje manja je od običnog stupnja visokofrekventnog pojačala.

Pitanja

179. Koja je prednost s t r a n o u z b u d n o g odašiljača prema samouzbudnom?
180. Koji stupnjevi u spoju odašiljača na sl. 269. rade s paralelnim, a koji sa serijskim napajanjem?
181. Zašto prvi stupanj visokofrekventnog pojačala na sl. 269. nije neutraliziran?

Zadaci

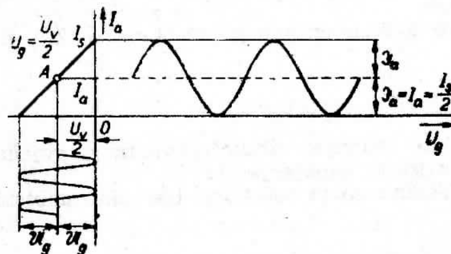
123. Nacrtaj spoj triode u stupnju visokofrekventnog pojačala s anodnom neutralizacijom i serijskim napajanjem!
124. Nacrtaj nadomjesnu shemu spoja rešetkine i anodne neutralizacije prema sl. 265. i 266!

O radu elektronke u odašiljaču

385. — Dosada smo upoznali osnovne spojeve odašiljača s elektronkama. Sada ćemo se pobliže upoznati s *načinom rada* i *radnim uslovima* elektronke u odašiljaču. Kako smo već u ranijim razlaganjima vidjeli, elektronke u odašiljaču rade pod uslovima koji su bitno drugačiji od onih u prijemniku (elektronkom odašiljača smatrat ćemo svaku elektronku u pojedinim stupnjevima odašiljača). U p r i j e m n o j t e h n i c i ide se za tim da se slabe izmjenične napone dovedene uzbudnoj rešetki ulazne elektronke po mogućnosti b e z i z o b l i č e n j a pretvori u odgovarajuće promjene anodne struje i da ih se pojača. U o d a š i l j a č k o j t e h n i c i nije toliko važan faktor pojačanja i vjernost (pojačanje bez izobličenja), nego što v i š i s t u p a n j d j e l o v a n j a (iskoristivosti). Pri opisivanju umnažanja frekvencije vidjeli smo kako se s velikim nelinearnim izobličenjem anodne struje može raditi u visokofrekventnom pojačalu odaišljača (vidi odsjek 382). Vjernost (rad s malo izobličenja) je kod odašiljača od sporedne važnosti, budući da se nepoželjni nadtitraji mogu naknadno u dovoljnoj mjeri potisnuti ugođenim titrajnim krugovima, tako da uopće ne dolaze do odašiljačke antene. U prijemniku koji nasuprot odašiljaču ne radi na jednoj o d r e đ e n o j frekvenciji, nego na širokom tonfrekventnom području, bilo bi to nemoguće.

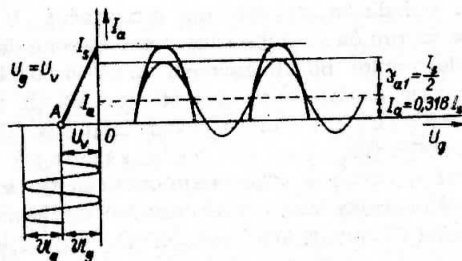
386. — Kako se dakle može postići visok stupanj iskoristivosti odašiljača? Odmah ćemo odgovoriti: *Prikladnim izborom radne tačke elektronke.* Pod *stupnjem iskoristivosti* elektronke u odašljaču razumijevamo prema odsjeku 106. odnos između izlazne energije izmjenične struje $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2$ prema utrošenoj energiji istosmjerne struje $N_a = U_a \cdot I_a$, dakle odnos $\eta = \mathfrak{N}_a/N_a$. Stupanj djelovanja bit će to v e ć i, što je n i ž i prosjek anodne istosmjerne struje I_a, odnosno istosmjerne snage N_a Na sl. 270. do 272. vidimo tri najvažnija slučaja uzbuđivanja elektronke. Radne karakteristike u U_g—I_a-dijagramu prikazane su zbog jednostavnosti kao p r a v c i. Nadalje pretpostavljamo da se *anodni istosmjerni napon* U_a *može iskoristiti do 90%*, dakle anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a = 0.9 \cdot U_a$. U *pojačalu klase A* radna tačka leži u s r e d i n i ravnog

dijela karakteristike (sl. 270). Elektronka se uzbuđuje s i m e t r i č n o oko radne tačke (usporedi odsjek 103 i sl. 77). Ako je tjemena vrijednost izmjeničnog rešetkinog napona $\mathfrak{U}_g$ jednaka polovini pomačnog napona $\frac{1}{2} U_v = -\frac{1}{2} \cdot D \cdot U_a$ (vidi dio I, odsjek 264), imat će n e i z o b l i č e n a anodna izmjenična struja tjemenu vrijednost $\mathfrak{J}_a = I_s/2$ u slučaju, da I_s označuje najveću vrijednost anodne struje (usporedi i sl. 48-a). Ampermetar u krugu anodne struje pokazuje i u pogonskom stanju istu vrijednost anodne struje I_a. U ovom se slučaju promjene anodne struje označuju *titranjem prvoga reda*. *Istosmjerna snaga* jest: $N_a = U_a \cdot I_a = \frac{1}{2} \cdot U_a \cdot I_s$, a *izmjenična snaga* $\mathfrak{N}_a = \frac{1}{2} \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a = \frac{1}{2} \cdot 0{,}9 \cdot U_a \cdot I_s/2$. Prema tome je korisni stupanj djelovanja $\eta = \mathfrak{N}_a/N_a = 0{,}225 \cdot U_a \cdot I_s/(0{,}5 \cdot U_a \cdot I_s) = 0{,}45 = 45\%$.



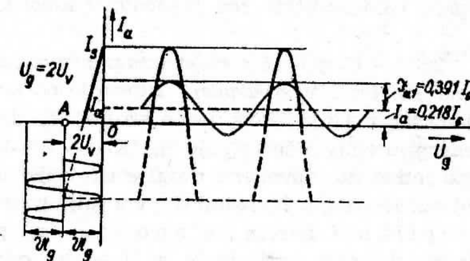
Sl. 270.

387. — Leži li radna tačka A na donjem koljenu karakteristike (sl. 271), to jest ako je $U_g = U_v$, onda imamo slučaj pojačavanja u *klasi B* (usporedi odsjeke 103 i 151). Uz (uzbudni) izmjenični napon $\mathfrak{U}_g$ s tjemenom vrijednošću $U_v = -D \cdot P_a$ dobiva se pulsirajuća anodna struja, sa srednjom vrijednošću $I_a = I_s/\pi = 0{,}318 \cdot I_s$. Anodna istosmjerna struja će pri punom uzbuđenju porasti od nule na ovu gornju vrijednost. Kod takvog *nesimetričnog* uzbuđivanja oko radne tačke A nazivaju se promjene anodne struje *titranjem drugoga reda*. Pulsirajuća anodna struja sastoji se od *osnovnog titraja* tjemene vrijednosti $\mathfrak{J}_a = I_s/2$. *Snaga izmjenične struje* bit će $\mathfrak{N}_a = 0{,}225 \cdot U_a \cdot I_s$ (vidi odsjek 386). No *snaga istosmjerne struje* iznosi samo $N_a = U_a \cdot I_s/\pi = 0{,}318\, U_a \cdot I_s$, te se tako *stupanj korisnog djelovanja* penje na $\eta = 0{,}225/0{,}318 = 0{,}71 = 71\%$! Nalazi li se radna tačka A ispod donjeg koljena karakteristike u negativnom dijelu rešetkinog napona, radi se o pojačavanju u *klasi C* (vidi odsjek 103). Uslijed *nesimetričnog uzbuđivanja* oko radne tačke i ovdje nastaju titraji drugoga reda. Na sl. 272. vidimo odnose za negativni rešetkin prednapon $U_g = 2U_v = -2D \cdot U_a$, i za izmjenični rešetkin napon $\mathfrak{U}_g$ tjemene vrijednosti $2U_v = -2D \cdot U_a$. Pulsirajuća anodna struja ima u tom slučaju srednju vrijednost $I_a = 0{,}218\, I_s$. Anodna istosmjerna struja porast će od 0 do ove vrijednosti pri punom uzbuđenju



Sl. 271.

Osnovni titraj pulsirajuće anodne struje ima tjemenu vrijednost $\mathfrak{J}_{a1} = 0{,}391\, I_s$, tako da je sada *snaga izmjenične struje* $\mathfrak{N}_a = 0{,}9\, U_a \cdot 0{,}391\, I_s/2 = 0{,}176\, U_a \cdot I_s$, dok je snaga *istosmjerne struje* $N_a = U_a \cdot 0{,}218\, I_s = 0{,}218\, U_a \cdot I_s$. Iako je snaga izmjenične struje manja nego u oba ranija slučaja, ipak se *korisni stupanj djelovanja* uslijed još manje snage istosmjerne struje, penje na $\eta = 0{,}176/0{,}218 = 0{,}81 = 81\%$. Vidimo dakle kako korisni stupanj djelovanja u velikoj mjeri visi o ispravnom izboru radne tačke. Opisano povećanje korisnog stupnja djelovanja u vezi je sa s n i ž e n j e m srednje vrijednosti istosmjerne anodne struje, to jest sa s n i ž e n j e m s n a g e N_v koja se na anodi pretvara u toplinu. Na ovaj način može se dakle s m a n j i m elektronkama postići relativno velika izlazna snaga.



Sl. 272.

Ponavljanje

Kod odašiljača s elektronkama polaže se važnost, ne kao kod prijemnika na veliki faktor pojačanja uz malo izobličenje, nego na visoki stupanj korisnog djelovanja (iskoristivosti). Nepoželjni nadvalovi mogu se lako potisnuti odgovarajućim filtrima, tako da uopće ne dođe do njihovog isijavanja preko antene. Stupanj iskoristivosti odašiljačke elektronke ovisi mnogo o položaju radne tačke. U pojačalu klase *A* radna tačka leži u sredini ravnog dijela karakteristike, te se tako, dok nema preuzbuđenja, dobiva neizobličena anodna izmjenična struja, to jest titraji p r v o g a r e d a. Kod pojačala u klasi *B* uzbuđenje je nesimetrično oko radne tačke, koja leži na donjem koljenu karakteristike. Ovdje nastaju izobličene promjene anodne struje, to jest titraji d r u g o g r e d a. U pojačalu klase *C* radna tačka leži s onu stranu donjeg koljena karakteristike, daleko u negativnom području rešetkinog prednapona. Uslijed nesimetričnog uzbuđivanja nastaju i ovdje titraji d r u g o g a r e d a. Pojačalo u klasi *C* radi s najvišim stupnjem iskoristivosti, te zbog toga igra u odašiljačkoj tehnici važnu ulogu.

Pitanja i odgovori

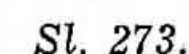
Pitanje: U čemu se razlikuju uvjeti rada elektronke u odašiljaču i prijemniku? *Odgovor:* Od elektronke u odašiljaču traži se uglavnom visok stupanj iskorstivosti, a od elektronke u prijemniku visok faktor pojačanja uz što manje izobličenje. — *P.:* O čemu uglavnom ovisi stupanj iskoristivosti elektronke u odašiljaču? *O.:* O položaju radne tačke. — *P.:* Što razumijevamo pod stupnjem iskoristivosti? *O.:* Odnos između privedene snage izmjenične struje prema utrošenoj snazi istosmjerne struje. — *P.:* Koji položaj imaju radne tačke pojačala u klasi A, B i C? *O.:* U pojačalu klase A radna tačka leži u sredini ravnog dijela karakteristike, u pojačalu u klasi B na donjem koljenu karakteristike, a u pojačalu u klasi C s onu stranu donjeg koljena, daleko u negativnom području rešetkinog prednapona. — *P.:* Što su titraji prvog, odnosno

drugog reda? *O.:* Neizobličeni titraji (anodne izmjenične struje) su titraji prvoga reda, a izobličeni titraji su titraji drugoga reda. — *P.:* Koja pojačala daju titraje drugoga reda? *O.:* Pojačala u klasi B i C, ali i ona u klasi A, ako su preuzbuđena. — *P.:* Koji način pojačavanja radi s najvećim, a koji s najmanjim stupnjem iskoristivosti? *O.:* Najveći stupanj iskoristivosti ima pojačalo u klasi C, a najmanji u klasi A.

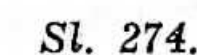
388. — Odašiljač s elektronkama može se prema dosadanjim izlaganjima smatrati *pretvaračem istosmjerne struje u izmjeničnu struju,* u kojem se energija istosmjerne struje N_a dovedena odašiljačici pretvara u energiju izmjenične struje $\mathfrak{N}_a$. Kao pri svakoj pretvorbi tako se i ovdje samo jedan dio dovedene nergije istosmjerne struje pretvara u energiju izmjenične struje. Preostali dio energije pretvara se na anodi odašiljačice u toplinu i naziva se anodna snaga gubitka. Prema tome vrijedi: $\mathfrak{N}_a = N_a - N_v$ ili $N_v = N_a - \mathfrak{N}_a$, odnosno $N_a = \mathfrak{N}_a + N_v$ (vidi odsjek 106). Maksimalna anodna snaga gubitka određena je za svaku odašiljačicu, te se ne smije ni u kojem slučaju prekoračiti da se odašiljačica ne bi uništila (vidi dio I, odsjek 262). U velikim odašiljačicama mora se razvijena toplina odvoditi vodom (hlađenje vodom), da bi se spriječilo prejako žarenje anode. Svaki stupanj odašiljača odaje neprestano energiju izmjenične struje, to jest u odašiljačima ne dolazi do »stanke u reprodukciji«, kao u prijemnicima (vidi odsjek 106), te N_v nije nikad jednak N_a, nego je N_v uvijek manji od N_a. Da snaga gubitka na anodi bude po mogućnosti što manja, ne smije anodni istosmjerni napon biti suviše velik, dok rešetkin negativni napon mora da bude dovoljno visok. Što je veći stupanj iskoristivosti, to veću izmjeničnu energiju može odašiljačica odaslati, pa je prema tome snaga gubitka na anodi utoliko manja (usporedi odsjek 387).

389. — Stupanj iskoristivosti odašiljačice raste s izlaznom snagom $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{J}_a/2$. Ovaj pak je to veći, što je u danoj anodnoj izmjeničnoj struji $\mathfrak{J}_a$ veći anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a$, koji nastaje na anodnom otporu za izmjeničnu straju $\mathfrak{R}_a$. Otpor $\mathfrak{R}_a$ mora dakle da bude što veći. Maksimalna vrijednost izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$ u odašiljaču je struja zasićenja, što kod prijemnika nije dopušteno, budući da veliki izmjenični rešetkin napon, koji je za to potreban, ima za posljedicu ne samo izobličenje anodne izmjenične struje (preuzbuđenje), nego se uslijed povremeno *pozitivne* uzbudne rešetke pojavljuje i *struja rešetke.* U pojačalu odašiljača radi se naprotiv često sa znatnim strujama rešetke. Izmjenični rešetkin napon $\mathfrak{U}_g$ i negativni rešetkin prednapon U_g mogu neovisno jedan o drugome biti po volji veliki. Za pretvorbu energije kod odašiljačice nema više prema tome uzbudna sposobnost anode, dakle prohvat D, odnosno unutarnji otpor elektronke $R_i = 1/(S \cdot D)$, nikakvog utjecaja. Zbog toga se prohvat može učiniti veoma malenim (1 do 2%), čime se postiže sasvim malo povratno djelovanje na anodu $D \cdot \mathfrak{U}_a$ (vidi odsjeke 48, 52 i 58), te tako možemo odašiljačicu s relativno malim rešetkinim izmjeničnim naponom potpuno uzbuditi.

390. — Veličina *izmjeničnog anodnog napona* praktički je ograničena. Budući da se izmjenični anodni napon $\mathfrak{U}_a$ i istosmjerni anodni napon U_a zbrajaju, stvarni napon na anodi odašiljačice povremeno je za $\mathfrak{U}_a$ veći, a povremeno za $\mathfrak{U}_a$ manji od anodnog istosmjernog napona U_a (usporedi odsjek 50). Anodni napon može dakle kod prevelikog anodnog izmjeničnog napona za vrijeme pozitivne poluperiode rešetkinog izmjeničnog napona toliko pasti ili postati čak negativan, da će struja elektrona većim dijelom ili potpuno teći na uzbudnu rešetku umjesto na anodu. Za podržavanje anodne struje potreban je uvijek stanoviti anodni napon. Ako bi anoda bila negativna, a uzbudna rešetka pozitivna prema katodi, tada bi veći dio elektrona najprije proletio kroz rešetku prema anodi, zatim odbijen od negativne anode vratio se konačno na pozitivnu uzbudnu rešetku. Struja rešetke bi u tom času jako porasla, a snaga izmjenične struje bi zbog snižene anodne struje jako pala. Ovo nepovoljno pogonsko stanje može se izbjeći tako da tjemena vrijednost $\mathfrak{U}_a$ anodnog izmjeničnog napona snizuje anodni istosmjerni napon U_a maksimalno na rešetkin istosmjerni napon U_s. Dakle $\mathfrak{U}_a$ mora da bude manje ili jednako $(U_a - U_s)$. Prema tome U_s predstavlja



Sl. 273.



Sl. 274.

onaj uzbudni napon, kojim se postiže maksimalna anodna struja I_s (sl. 273). Ovom stanju odgovara anodni otpor za izmjeničnu struju: $\mathfrak{R}_{gr} = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{J}_a = (U_a - U_s)/\mathfrak{J}_a$, koji se naziva *granični otpor.* $\mathfrak{J}_a$ je kao i dosada anodna izmjenična struja osnovnog titraja. Za ovaj granični otpor bit će odaslana izmjenična energija $\mathfrak{N}_a$ najveća. Ako je $\mathfrak{R}_a < \mathfrak{R}_{gr}$, onda istosmjerni pogonski napon neće biti potpuno iskorišten, pa će i odaslana izmjenična energija biti *smanjena.* Iz ovih razmatranja slijedi da granični otpor $\mathfrak{R}_{gr}$ uopće ne ovisi o unutarnjem otporu elektronke R_i, nego samo o anodnom istosmjernom naponu U_a, odnosno o anodnoj istosmjernoj struji I_a.

391. — Na sl. 274. uspoređene su U_a—I_a-karakteristike neke *triode* i *pentode*. Vidimo da su u području manjih *pozitivnih* rešetkinih napona obje karakteristike potpuno slične (usporedi također sl. 83 i 87). Kod viših pozitivnih rešetkinih napona dolazi kod trioda do crtkane uleknute krivulje, što ukazuje na izmjenu sekundarnih elektrona između anode i rešetke (vidi dio I, odsjek 276). Zbog strmog porasta krivulje u pozitivnom području rešetkinih napona postiže se kod trioda bolje iskorišćenje anodnog istosmjernog napona, a time i znatno povećanje energije izmjenične struje (vidi odsjek 389). Pojava rešetkine struje zahtijeva međutim od predstupnja odašiljača ne samo izvjestan rešetkin napon, nego i izvjesnu energiju (usporedi odsjek 154). Kod pentoda se uzbuđivanjem u pozitivnom području rešetkinog napona ne dobiva toliki prirast izmjenične energije kao kod trioda, budući da krivulje već u negativnom području rešetkinog napona pokazuju strm porast. Potreba izmjenične energije na rešetki je zato kod pentoda manja[79]), jer se potrebna uzbudna snaga uzima kao snaga istosmjerne struje od zaštitne rešetke. Zbog toga se u praksi sve češće upotrebljavaju i pentode.

Ponavljanje

Snaga istosmjerne struje N_a dovedena nekoj odašiljačici pretvara se dijelom u snagu izmjenične struje $\mathfrak{N}_a$, a dijelom u snagu gubitka na anodi N_v. Pri tome vrijedi: $N_a = \mathfrak{N}_a + N_v$. Budući da odašiljačica trajno odaje energiju izmjenične struje, uvijek je $N_v < N_a$. Snaga gubitka na anodi N_v ne smije ni u kojem slučaju prekoračiti propisanu vrijednost. Anodna struja smije u pojačalu odašiljača pozitivnim uzbudnim naponom biti uzbuđena do svoje maksimalne vrijednosti. Zbog toga se prohvat odašiljačice može držati vrlo malenim. Anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a$ mora da bude uvijek manji od anodnog istosmjernog napona U_a, naime $\mathfrak{U}_a \leq (U_a—U_s)$, gdje U_s označuje uzbudni napon, koji uzrokuje najveću anodnu struju I_s. Prema tome mora i anodni otpor za izmjeničnu struju da bude ograničen na vrijednost graničnog otpora $\mathfrak{R}_{gr} = (U_a — U_s)/\mathfrak{J}_a$. Ako je $\mathfrak{R}_a < \mathfrak{R}_{gr}$, tada elektronka nije potpuno iskorištena. Veličina graničnog otpora ovisi samo o anodnom istosmjernom napona U_a, a nikako o unutarnjem otporu R_i. Triode pokazuju u pozitivnom području rešetkinog napona sličan tok U_a—I_a-krivulja kao pentoda u negativnom području rešetkinog napona. Kod tetroda i pentoda je potrebna uzbudna snaga znatno manja nego kod trioda.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje tri vrsti energije razlikujemo u odašiljačkim elektronkama? *Odgovor:* Energiju istosmjerne struje N_a, energiju izmjenične struje $\mathfrak{N}_a$ i energiju gubitka na anodi N_v. — *P.:* U kakvom međusobnom odnosu stoje ove energije? *O.:* $N_a = \mathfrak{N}_a + N_v$. — *P.:* Kako se očituje energija gubitka na anodi? *O.:* Anoda odašiljačice se jako ugrije. — *P.:* Kako se tumači ovo ugrijavanje? *O.:* Udaranjem elektrona o anodu. — *P.:* Kako se može postići velika energija izmjenične struje? *O.:* Punim iskorišćenjem anodne struje i velikim anodnim otporom za izmjeničnu struju, to jest velikim anodnim izmjeničnim naponom. — *P.:* Koliki može biti najveći anodni izmjenični napon? *O.:* Ne veći od razlike $(U_a — U_s)$, gdje U_s označuje najveći rešetkin istosmjerni napon. — *P.:* Čemu je ovo ograničavanje potrebno? *O.:* Da stvarni anodni napon ne bi suviše pao ili čak postao negativan. — *P.:* Koju vrijednost ne smije izmjenični anodni otpor $\mathfrak{R}_a$ prekoračiti? *O.:* Granični otpor $\mathfrak{R}_{gr} = (U_a — U_s)/\mathfrak{J}_a$. — *P.:* Što se događa ako je $\mathfrak{R}_a < \mathfrak{R}_{gr}$? *O.:* Odašiljačica ne daje maksimalnu snagu. — *P.:* Kakvo svojstvo pokazuju triode u pozitivnom području rešetkinog napona? *O.:* Krivulje *su* u U_a—I_a-dijagramu u tom slučaju potpuno slične krivuljama U_a—I_a-dijagrama kod pentoda. — *P.:* Koja je mana uzbuđivanje trioda u pozitivnom području rešetkinog napona? *O.:* Potrebna je prilično velika snaga za uzbuđivanje.

[79]) 100-vatna pentoda može se na primjer potpuno uzbuditi izmjeničnom energijom na rešetki (uzbudnom energijom) od samo 1 W.

Pitanja

182. Zašto u odašiljačicama izobličenje nema veće značenje?

183. Koja je razlika između odašiljačkih i prijemnih elektronki s obzirom na odnos između energije gubitka na anodi i dovedene energije istosmjerne struje?

184. O čemu ovisi, odnosno o čemu ne ovisi granični otpor odašiljačke elektronke?

Zadaci

125. Koji se maksimalni stupanj iskoristivosti može teoretski postići u pojačalu klase *A*, *B* i *C* i koliki postotak od snage istosmjerne struje u svakom pojedinom slučaju otpoda na gubitke na anodi?

126. Neka odašiljačica uzima istosmjernu snagu od 30 W, a izlazna elektronka u prijemniku istosmjernu snagu od 15 W. Stupanj iskoristivosti iznosi u oba slučaja 50%: a) Kako su veliki maksimalni gubici na anodi? b) Što slijedi iz rezultata?

127. Neka trioda radi kao pojačalo u klasi B s anodnim naponom od 2.5 kV, s najvećom anodnom strujom od 1,5 A i s najvećim rešetkinim istosmjernim naponom od 250 V: a) Koliki je maksimalni dopustivi anodni izmjenični napon? b) Koliki je granični otpor? c) Koju snagu daje odašiljačica na osnovnom valu?

Tipkanje odašiljača

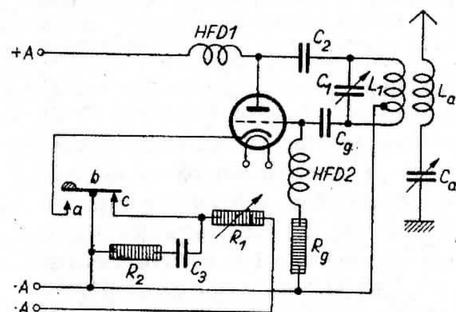
392. — U tehnici odašiljača ne radi se samo o tome da se proizvode i isijavaju visokofrekventni titraji, nego je potrebno da se na daljinu odašilju razni znakovi, govor i glazba. Neprigušeni visokofrekventni titraji proizvedeni za tu svrhu moraju se na neki način mijenjati u taktu znakova, odnosno titraja glazbe i govora. To se postiže na dva načina: *tipkanjem* i *moduliranjem*. Tipkanje se upotrebljava isključivo za telegrafske odašiljače. Ovdje se radi o prekidanju odašiljačkih titraja u taktu Morseovih znakova. Budući da odašiljač u ovom slučaju ne odašilje nikakav ton, mora se ovaj proizvesti u prijemniku interferencijom s jednom pomoćnom frekvencijom (vidi odsjeke 347, 356 i 364). Tada govorimo o *nemoduliranoj telegrafiji*.

Ako su pak titraji koje proizvodi odašiljač u taktu Morseovih znakova *modulirani* nekom tonskom frekvencijom, onda se ovi znakovi mogu neposredno primati sa svakim običnim prijemnikom (vidi dio I, odsjek 187). U tom slučaju se radi o *tonskoj (moduliranoj) telegrafiji.* M o d u l a c i j a dolazi u obzir za v e ć e telegrafske odašiljače, dok manji telegrafski odašiljači, osobito odašiljači radio-amatera, rade pretežno s tipkanjem, dakle nemodulirano. Svi *telefonski odašiljači,* a prvenstveno razglasni odašiljači, kao što nam je već odavno poznato, *tonski su modulirani odašiljači.*

Sl. 275.

393. — Ovdje ćemo prikazati najvažnije načine tipkanja nekog odašiljača. Prekidanje odašiljačkih titraja moglo bi se najjednostavnije vršiti tipkalom koje bi bilo uključeno u *dovod antene.* Time bi se a n t e n s k a s t r u j a prekidala u taktu Morseovih znakova. No taj način ima toliko nedostataka[80]), da praktički otpada. U odašiljačkoj praksi upotrebljavaju se općenito samo ova dva načina: Prvi je *tipkanje u anodnom krugu (anodno tipkanje),* na koji se često nailazi kod malih odašiljača s elektronkama. Drugi je u katodnom vodu, kao što je na primjer prikazano na sl. 275. za odašiljač u spoju u tri tačke (vidi odsjek 272), nalazi se tipkalo *T,* kojim se u taktu Morseovih znakova istodobno prekida anodna i rešetkina struja odašiljačice.

394. — U ovom je spoju mrežni odašiljač ispravljača za vrijeme pauze malo ili nikako opterećen, pa će se kondenzatori filtra ispravljača nabiti na tjemenu vrijednost ispravljačevog napona. Kod pritisnutog tipkala past će anodni istosmjerni napon odašiljačice s tjemene vrijednosti na pogonsku vrijednost. Ovo kolebanje istosmjernog napona dovodi pri samouzbudnom odašiljaču bez upotrebe kvarcovog kristala do kolebanja frekvencije, što se u prijemniku vrlo neugodno očituje u kolebanju visine tona pojedinog znaka. Treba se dakle pobrinuti da mrežni ispravljač bude za vrijeme pauze opterećen jednako kao i za vrijeme dok je tipkalo pritisnuto. Takvim *izjednačenjem opterećenja* posti-



Sl. 276.

80) Kolebanje frekvencije, mala opteretivost tipkala, razgođenje uslijed kapaciteta prema tijelu onog koji tipka itd.

zava se da anodni istosmjerni napon ostaje u v i j e k isti, a prema tome i frekvencija odašiljača. Jednostavni spoj i z j e d n a č e n j a o p t e r e ć e n j a prikazan je na sl. 276. Ovdje tipkalo ima t r i kontakta. Na r a d n i k o n t a k t *a,* koji je za vrijeme pauze otvoren, spojena je katoda, na s r e d n j i k o n t a k t *b* negativni pol anodnog ispravljača —*A,* a na k o n t a k t m i r o v a n j a *c* pozitivni pol $+A$ anodnog ispravljača i to preko promjenljivog otpora R_1 za izjednačenje opterećenja. Vrijednost otpora R_1 treba da bude tako odabrana, da kroz otpor za vrijeme pauze teče struja (strujni krug A_1, R_1, C, b, $-A$, ispravljač i $+A$) iste jakosti kao što je anodna struja za vrijeme pritisnutog tipkala, dakle za vrijeme pogonskog stanja elektronke. Serijski spoj kondenzatora $C_3 = 0{,}1$ do $2\,\mu F$ i otpora $R_2 = 50$ do $500\,\Omega$ služi za gašenje iskre pri otvaranju kontakta mirovanja *c.*

Ponavljanje

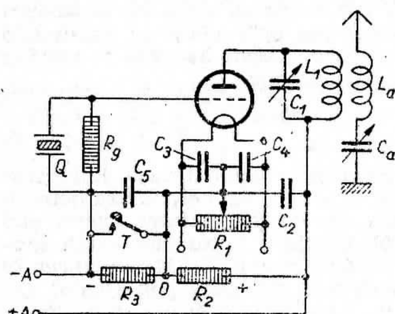
Neprigušeni visokofrekventni titraji proizvedeni u nekom odašiljaču moraju da budu u svrhu prijenosa vijesti ili tipkani ili modulirani. Kad se t i p k a titranje se prekida u taktu Morseovih znakova (n e m o d u l i r a n a t e l e g r a f i j a), dok se kod m o d u l i r a n e t e l e g r a f i j e prijenosni val modulira u taktu znakova nekom tonskom frekvencijom (m o d u l i r a n a t o n s k a t e l e g r a f i j a). T i p k a n j e odašiljača može se izvršiti uključivanjem tipkala u antenski krug, no taj način ima raznih nedostataka. Znatno povoljnije radi se t i p k a n j e m u a n o d n o m k r u g u (anodno tipkanje). Ovdje se tipkalom uključenim u katodni priključak neke odašiljačice istodobno prekida anodna i rešetkina struja. Budući da je ispravljač za vrijeme pauze slabo ili nikako opterećen, moramo se pobrinuti za izjednačenje opterećenja, kako bi anodni istosmjerni napon ostao uvijek isti, te ne bi došlo do kolebanja frekvencije. Otpor za izjednačenje opterećenja priključuje se na tipkalo sa tri kontakta, i opterećuje se strujom iste jakosti kao što je anodna struja odašiljačke elektronke u pogonskom stanju.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se može pomoću visokofrekventnih titraja, koje proizvodi neki odašiljač, ostvariti prijenos vijesti? *Odgovor:* Tipkanjem ili moduliranjem visokofrekventnih titraja. — *P.:* Što razumijevamo pod tipkanjem? *O.:* Prekidanje odašiljačevih titraja u taktu Morseovih znakova. — *P.:* Kako nazivamo taj način telegrafiranja? *O.:* Nemoduliranim telegrafiranjem. — *P.:* Koji drugi način telegrafiranja poznajemo? *O.:* Tonsku ili moduliranu telegrafiju. — *P.:* Koji odašiljači s elektronkama rade isključivo s modulacijom prijenosnih titraja? *O.:* Tonski modulirani razglasni odašiljači. — *P.:* Kako se najjednostavnije može vršiti tipkanje odašiljača? *O.:* Tipkalom uključenim u antenski krug. — *P.:* Koji je način tipkanja znatno bolji? *O.:* Prekidanje anodnog kruga (anodno tipkanje). — *P.:* Kako djeluje takvo tipkanje? *O.:* Tipkalom uključenim u katodni vod prekida se u taktu Morseovih znakova anodna i rešetkina struja. — *P.:* Koje osobite mjere treba ovdje predvidjeti? *O.:* Izjednačenje opterećenja. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Zato da anodni istosmjerni napon za vrijeme pauze ne bi bio veći od napona za vrijeme tipkanja. — *P.:* Kako se može izvesti izjednačenje opterećenja? *O.:* Otporom za izjednačenje opterećenja, kroz koji za vrijeme pauze teče struja iste jakosti kao što je anodna struja elektronke u pogonskom stanju.

395. — Drugi često upotrebljavani način tipkanja odašiljača je tipkanje *u rešetkinom krugu* (z a p o r n o   t i p k a n j e   r e š e t k i n o g   k r u g a). Prekidanje titraja (emisije) može se najjednostavnije postići d i r e k t n i m   p r e k i d a n j e m   r e š e t k i n o g   k r u g a   u ritmu Morseovih znakova. Uslijed toga se u z b u d n a   r e š e t k a elektronke nabije na tako visok negativni napon, da će anodna struja biti zakočena i titraji (emisija) će izostati. Ovaj način nije potpuno pouzdan, jer izolacioni otpor kruga uzbudne rešetke nije dovoljno velik da bi se pri otvaranju tipkala naglo spriječilo otjecanje rešetkine struje. Uslijed toga nastaje pri tipkanju nepoželjno »kapanje«. Kod prijema takvog telegrafskog odašiljača ne dobiva se »dobar ton«. Bezprijekorno prekiđanje anodne struje postizava se tako da se uzbudnoj rešetki za vrijeme prekida dade *tako velik negativni prednapon,* da anodna struja uopće ne teče, a da također ne teče ni rešetkina struja. Negativni rešetkin prednapon uzima se ili iz posebne baterije ili iz omskog *djelitelja* napona anodnog ispravljača.

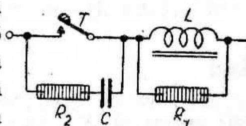
396. — Na sl. 277. prikazan je telegrafski odašiljač s tipkanjem u rešetkinom krugu. Za promjenu (prema sl. 262) ovdje je prikazan Huth-Kühnov spoj s kvarcovim uzbudnim kristalom i direktno žarenom elektronkom. Kondenzatori $C_3 = C_4 = 1\,000$ do $5\,000$ pF služe, kao što je već poznato (vidi odsjek 384), za simetriranje žarne niti, dok promjenljivi otpor $R_1 = 100\ \Omega$, služi za uklanjanje brujanja (vidi odsjek 32). Između priključnica $+A$ i $-A$ spojeno je omsko djelilo napona $R_2 + R_3$. Pad napona na otporu R_3 iskorištava se kao n e g a t i v n i rešetkin prednapon. Uzbudna rešetka spojena je naime preko rešetkinog odvodnog otpora R_g na lijevu stranu, a sredina niti na desnu stranu (0) otpora R_3. Kondenzator C_5 (oko 10 000 pF), predstavlja za visokofrekventnu struju kratak spoj rešetkinog kruga sa sredinom niti. Tipkalo T spojeno je paralelno otporu R_3 i kad je o t v o r e n o dobiva uzbudna rešetka negativan prednapon, koji zakoči anodnu struju. Kad je p r i t i s n u t o tipkalo, otpor R_3 je kratko spojen, pa veliki rešetkin prednapon nestane i anodna struja poteče, uz pojavu oscilacija. Radi li se o višestepenom odašiljaču, tipkanjem se prekida samo posljednji stupanj odašiljača, dok uzbudni stupanj i visokofrekventni međustupnjevi rade neprekidno. Tipkanje je moguće izvršiti također u prvom stupnju iza oscilatora. Prednost ovoga je u tome što tipkalo nije pod tolikim naponom kao u slučaju tipkanja u posljednjem stupnju. Svi stupnjevi visokofrekventnog pojačala, iza onog stupnja u kojem se vrši tipkanje, moraju imati s t a l a n rešetkin prednapon iz neke baterije ili ispravljača,



Sl. 277.

a ne da se taj stvara na rešetkinom odvodnom otporu ili katodnom otporu. Kad bi naime za vrijeme prekida tipkalom u tim stupnjevima nestalo visokofrekventnog uzbuđenja, nestao bi i rešetkin prednapon, pa bi kroz elektronke potekla velika anodna struja, koja bi ih mogla uništiti.

397. — Konačno se moramo pozabaviti još *smetnjama pri tipkanju,* koje lako nastaju kod telegrafskih odašiljača. Pri zatvaranju ili otvaranju tipkala dolazi do naglog porasta ili pada anodne struje u odašiljačici, te uslijed toga do naglog nastajanja ili prekida visokofrekventnog šiljačici titranja. To se praktički očituje tako, kao da su visokofrekventni titraji modulirani prilično širokim pojasom frekvencija (do više stotina kHz)[81]). U prijemnicima se ovi udarci struje čuju kao takozvano »cvrčanje«. Da do ovakvih smetnji tipkanja ne bi došlo, moramo se pobrinuti, da se anodna struja prekida i uključuje p o s t e p e n o. To se može postići ugradnjom prigušnice sa željeznom jezgrom. Na sl. 278. vidimo *filtar tipkala* koji se sastoji od prigušnice L, koja ima nekoliko henrija, dva omska otpora $R_1 = 2$ do 5 kilooma i $R_2 = 50$ do 500 Ω, i kondenzatora $C = 0{,}1$ do 2 mikrofarada. Prigušnica L svojim induktivitetom djeluje tako da anodna struja odašiljačice raste, odnosno pada postepeno (vidi dio I, odsjek 12 i sl. 10). Paralelnim otporom R_1 ograničuje se djelovanje prigušnice na poželjnu mjeru. Serijski spoj kondenzatora C i otpora R_2 (paralelno tipkalu) služi za gušenje iskara koje nastaju pri prekidanju tipkala (vidi odsjek 394 i sl. 276).



Sl. 278.

Ponavljanje

Najjednostavniji način t i p k a n j a   u   r e š e t k i n o m   k r u g u sastoji se u prekidanju rešetkinog voda elektronke u taktu Morseovih znakova. Za vrijeme pauze u tipkanju nabije se uzbudna rešetka elektronima na tako visok negativni napon, da anodna struja prestane teći i visokofrekventni titraji (emisija) nestanu. Budući da se na taj način ne može postići besprijekorno zakočenje elektronke, dovodi se uzbudnoj rešetki za vrijeme pauze tako velik negativni prednapon, da se anodna struja potpuno potisne. Potreban rešetkin prednapon uzima se iz neke baterije ili s omskog djelila napona. Kod odašiljača s više stupnjeva tipka se redovito samo posljednji stupanj, ili još bolje prvi stupanj iza oscilatora. Momentani pad i porast struje pri otvaranju i zatvaranju tipkala prouzrokuje nepoželjni široki frekventni pojas. Ova vrsta smetnji kod tipkanja primjećuje se u prijemniku kao »cvrčanje«. Ovakve se smatnje uklanjaju filtrima, koji djeluju tako da anodna struja p o s t e p e n o raste ili pada.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se vrši tipkanje u rešetkinom krugu? *Odgovor:* Visokofrekventni se titraji prekidaju velikim negativnim nabojem na uzbudnoj rešetki elektronke u taktu Morseovih znakova. — *P.:* Koje su

---

[81]) To slijedi iz »integralnog teorema« po Fourieru. Svaki udarac struje vezan je s nastajanjem jednog pojasa frekvencija, kojemu je širina to veća, što je udarac brži.

mane obično prekidanja rešetkinog voda? *O.*: Uslijed neizbježive pogreške u izolaciji dolazi nakon prekida tipkalom do udara rešetkine struje. — *P.*: Kako se tumači ta pojava? *O.*: Negativni naboj uzbudne rešetke, kad postigne stanovitu vrijednost, otječe kroz izolacioni otpor rešetkinog kruga u obliku udara. — *P.*: Kako se može postići besprijekorno kočenje elektronke za vrijeme pauze? *O.*: Uzbudnoj rešetki daje se za vrijeme pauze tako velik prednapon, da se potpuno obustavi anodna i rešetkina struja. — *P.*: Gdje se vrši tipkanje odašiljača s više stupnjeva? *O.*: Ili u posljednjem stupnju ili u prvom stupnju pojačala odmah nakon uzbudnog stupnja (oscilatora). — *P.*: Koje su nepoželjne pojave vezane uz momentani porast, odnosno pad anodne struje. *O.*: Pojavljuje se nepoželjni pojas frekvencija, što se čuje kao »cvrčanje«. — *P.*: Kako se ova smetnja uklanja? *O.*: Pomoću filtara.

Pitanja

185. Kakva razlika s obzirom na prijem postoji između nemoduliranih i moduliranih telegrafskih odašiljača?

186. Koje smo načine tipkanja telegrafskih odašiljača upoznali?

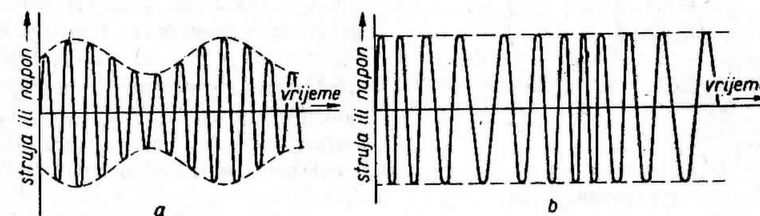
187. Kako djeluje filtar tipkala?

Zadaci

128. Nacrtaj spoj telegrafskog odašiljača s tipkanjem u anodnom krugu prema sl. 275. za slučaj da je upotrijebljena direktno žarena elektronka i filtar za tipkanje!

Moduliranje odašiljača

398. — U *moduliranoj telegrafiji*, odnosno *telefoniji*, moduliraju se proizvedeni visokofrekventni titraji (prijenosni titraji) određenom tonskom frekvencijom u taktu Morseovih znakova, odnosno tonfrekventnim titrajima govora i muzike. Kao što znamo iz dijela I, odsjeka 192, modulirani odašiljač isijava ne samo *prijenosnu frekvenciju f*, nego i *bočne frekvencije* $f + f'$ i $f - f'$, gdje f' označuje tonsku frekvenciju kojom se modulira. Pri modul ciji titrajima govora i muzike širina je pojasa, koji se isijava, jednaka dvostrukoj najvišoj frekvenciji moduliranja (vidi dio I, odsjek 190). U načelu postoje dva načina moduliranja: *kod amplitudne modulacije*, koja je nama već poznata (vidi sl. 179-a, usporedi također dio I, sl. 135, 138, 141 i odsjek 188), povećava se, odnosno smanjuje veličina visokofrekventnih titraja (amplituda) frekvencije f u taktu niskofrekventnih modulacionih titraja frekvencije f'. Veličina promjene amplituda određena je glasnoćom (jakošću), a broj promjena veličine titraja u sekundi određen je visinom tona (frekvencijom tona), kojim se odašiljač modulira. Kod *frekventne modulacije* (sl. 279-b) se u taktu niskofrekventnih titraja (koje treba prenijeti) mijenja frekvencija vala, a ne veličina titraja.[82]) Jakost glasa, odnosno stupanj modulacije govornih i muzičkih titraja, odgovara ovdje veličini promjena frekvencije, a visina tona brzini promjena frekvencije. I kod frekventne modulacije, isto kao i kod amplitudne, nastaju pri malenom stupnju moduliranja osim prijenosne frekvencije još i oba bočna pojasa frekvencija. Kod velikog stupnja moduliranja

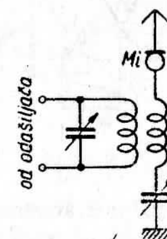


Sl. 279.

pridolazi još čitav niz bočnih pojaseva frekvencija, koje leže u području $f \pm 2f'$, $f \pm 3f'$ itd. Budući da frekventna modulacija praktički zasada ima manje značenje, bavit ćemo se ovdje isključivo amplitudnom modulacijom.

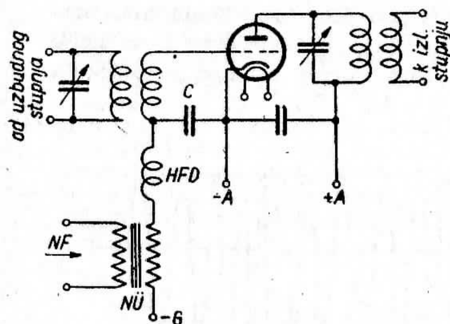
[82]) Takozvana fazna modulacija podudara se u načelu s frekventnom modulacijom.

399. — Modulaciju prijenosnih titraja možemo najjednostavnije postići uključenjem *ugljenog mikrofona Mi* u *antenski krug* (sl. 280). Ako se u mikrofon govori, mijenja se njegov otpor u ritmu zvučnih titraja, te se zbog toga mijenja i jakost antenske struje, dakle i veličina titraja isijanih valova, i to u istom ritmu i na isti način. Zbog toga, što se na ovaj način mikrofon opterećuje antenskom strujom i što dolazi do velikog prigušenja, ovaj način moduliranja dolazi u obzir samo za male odašiljače, kod kojih je antenska struja manja od 100 mA. Veći odašiljači rade uglavnom na jedan od četiri načina moduliranja koje ćemo ovdje tačnije opisati. Izmjenična snaga, što je daje odašiljač, ovisi prema odsjecima 386. i 387. o veličini negativnog rešetkinog prednapona. Ako se rešetkinom prednaponu doda (superponira) tonfrekventni modulacioni izmjenični napon, onda se prijenosni titraji na ovaj način moduliraju. Na uzbudnu rešetku elektronke ne djeluje u tom slučaju samo visokofrekventni prijenosni izmjenični napon, nego istodobno i modulacioni izmjenični napon, tako da se rešetkin prednapon pomiče u taktu modulacione frekvencije. Uslijed toga će se također mijenjati i anodna izmjenična struja proizvedena u odašiljačkoj elektronki i to u ritmu modulacione frekvencije. Pravo moduliranje, a ne samo obično »mije-



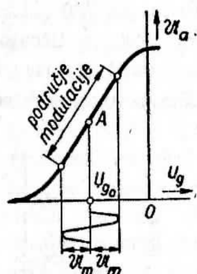
Sl. 280.

šanje« (vidi dio I, odsjek 88) dobiva se samo onda, ako se radna tačka elektronke nalazi daleko u negativnom području U_g—I_a-*karakteristike,* dakle ne na sredini ravnog dijela karakteristike. To slijedi jednostavno iz obrata činjenice da se tonski modulirani titraji mogu samo ispravljanjem (demodulacijom) rastaviti na visokofrekventnu izmjeničnu struju (vidi dio I, odsjek 196). *Da se postigne moduliranje, mora dakle na strani odašiljača postojati jedan nesimetričan organ* (na primjer donji dio karakteristike elektronke).



Sl. 281.

400. — Način moduliranja, koji smo upravo opisali, nazivamo *naponskom modulacijom na rešetki.* Na sl. 281. prikazan je spoj za ovakvu modulaciju, u kojem se odašiljač uzbuđuje strano. Na rešetkin krug odašiljačice prenose se visokofrekventni titraji proizvedeni u uzbudnom stupnju preko visokofrekventnog transformatora *HÜ 1* i kondenzatora *C.* Istodobno uzbudna rešetka dobiva preko niskofrekventnog transformatora modulacijske titraje *NF* iz nekog izvora tonfrekventne struje (na primjer iz mikrofona, zvučnice ili u taktu Morseovih znakova prekidanog niskofrekventnog generatora). Visokofrekventna prigušnica *HFD* odjeljuje visokofrekventne titraje od niskofrekventnog transformatora. Tonski modulirani visokofrekveni titraji iz anodnog kruga odašiljačice prenose se preko drugog visokofrekventnog transformatora *HÜ 2* izlaznom stupnju ili jednom od slijedećih stupnjeva visokofrekventnog pojačala odašiljača. Uzbudna rešetka dobiva potreban negativni prednapon s priključnice —G. Na sl. 282. vidimo *krivulje modulacije* ovako moduliranog odašiljača. Ona prikazuje ovisnost visokofrekventnih naponskih amplituda $\mathfrak{U}_a$ o rešetkinom prednaponu U_g, a dobiva se tako da se za svaku vrijednost rešetkinog prednapona U_g izmjeri pripadna tjemena vrijednost anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$. Da bi se izbjegla izobličenja modulacije smije se iskorištavati samo r a v n i d i o k r i v u l j e m o d u l a c i j e, to jest tjemena vrijednost izmjeničnog modulacionog napona $\mathfrak{U}_m$ ne smije biti prevelika (vidi sl. 282). To se postiže tačnim postavljanjem radne tačke *A,* dakle ispravnim izborom negativnog rešetkinog prednapona U_{g0}. Iz krivulje se dobro vidi da stopostotna modulacija anodnog izmjeničnog napona na ovaj način nije moguća, jer bi došlo do velikih izobličenja.



Sl. 282.

Ponavljanje

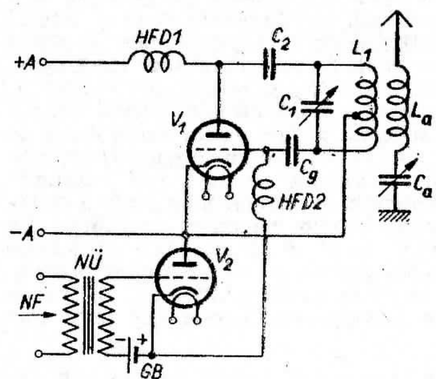
U a m p l i t u d n o j m o d u l a c i j i mijenja se u ritmu niskofrekventnih modulacionih titraja v e l i č i n a titraja (amplituda), a u f r e k v e n t n o j m o d u l a c i j i mijenja se f r e k v e n c i j a. Prigodom moduliranja nastaju pored prijenosnog vala još i bočni pojasevi frekvencija. Na najjednostavniji način može se amplitudna modulacija prijenosnih titraja izvršiti uključivanjem ugljenog mikrofona u antenski krug. Ovaj postupak prikladan je samo za male antenske struje. Moduliranje prijenosnih titraja može se općenito postići na taj način da se na strani odašiljača upotrijebi jedan n e s i m e t r i č a n organ. U slučaju n a p o n s k e m o d u l a c i j e n a r e š e t k i djeluje na uzbudnu rešetku osim visokofrekventnog prijenosnog izmjeničnog napona istodobno i niskofrekventni modulacioni izmjenični napon uz dovoljno velik negativni rešetkin prednapon. K r i v u l j a m o d u l a c i j e prikazuje ovisnost amplituda anodnog izmjeničnog napona o rešetkinom prednaponu. Negativni rešetkin prednapon mora se tako odabrati, da radna tačka leži u sredini ravnog dijela krivulje modulacije, jer je u tom slučaju izobličenje najmanje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja razlika postoji između amplitudne i frekventne modulacije? *Odgovor:* Kod amplitudne modulacije mijenjaju se u ritmu niskofrekventnih modulacijskih titraja amplitude titraja, a kod frekventne modulacije mijenja se frekvencija. — *P.:* Kakav utjecaj na prijenosne titraje vrše jakost i visina tona? *O.:* U amplitudnoj modulaciji mijenja se s jakošću tona veličina amplituda, a s visinom tona broj kolebanja amplituda na sekundu. U frekventnoj modulaciji odgovara jakosti tona veličina promjene frekvencije, a visini tona brzina promjene frekvencije prijenosnih titraja. — *P.:* Kako se najjednostavnije može izvršiti modulacija prijenosnih titraja? *O.:* Tako da se u antenski krug spoji ugljeni mikrofon. — *P.:* Ima li ovaj način kakvo praktičko značenje? *O.:* Samo za male odašiljače s antenskom strujom do 100 mA. — *P.:* Kako djeluje naponska modulacija na rešetki? *O.:* Uzbudna rešetka ne dobiva samo visokofrekventne prijenosne titraje, nego i niskofrekventne modulacione titraje. — *P.:* Zašto u ovom slučaju mora radna tačka odašiljačice biti daleko ispod donjeg koljena U_g—I_a-karakteristike? *O.:* Zato jer je za moduliranje bitno da postoji jedan nesimetričan organ. — *P.:* Što prikazuje krivulja modulacije? *O.:* Ovisnost amplituda anodnog izmjeničnog napona o rečetkinom prednaponu. — *P.:* Kada ne dolazi do izobličenja modulacije? *O.:* Onda kada se za uzbuđivanje upotrebljava samo ravni dio krivulje modulacije.

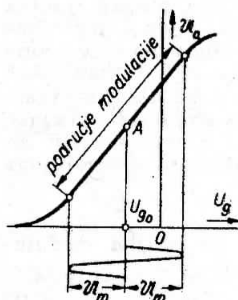
401. — Jedna podvrsta modulacije na rešetki je *strujna modulacija na rešetki,* prema S c h ä f f e r u. Na slici 282. vidimo spoj za ovakvu vrstu modulacije. Izabran je s a m o u z b u d n i odašiljač u spoju u tri tačke (usporedi odsjek 276.). Niskofrekventni transformator *NÜ* na sl. 281. zamijenjen je ovdje *modulacijskom elektronkom* V_2, kojoj je anoda spojena s katodom odašiljačice V_1, a katoda modulatorke spojena je na rešetkin krug odašiljačice V_1. Kroz modulatorku V_2 teče dakle rešetkina istosmjerna struja od odašiljačice V_1, pa modulatorka u ovom slučaju služi kao rešetkin odvodni otpor. Visokofrekventna prigušnica HFD_2 sprečava otjecanje visokofrekventne izmjenične struje s odašiljačice preko modulatorke k potencijalu nula (k minus-polu). Nisko-

frekventni modulacijski titraji *NF* dolaze preko niskofrekventnog transformatora i preko rešetkine baterije *GB* na rešetkin krug modulatorke (usporedi odsjek 400), pa prouzrokuju promjenu unutarnjeg otpora ove elektronke i time promjenu r e š e t k i n e i s t o s m j e r n e s t r u j e odašiljača u taktu modulacijskog titranja. Na taj se način u istom ritmu mijenja i veličina visokofrekvetne anodne, odnosno antenske struje, te je tako odašiljačica tonski modulirana. I ovdje, kao i kod naponske modulacije na rešetki, *krivulja modulacije* prikazuje ovisnost visokofrekventnih izmjeničnih napona $\mathfrak{U}_a$ odašiljačice V_1 o rešetkinom prednaponu U_g modulatorke V_2 (sl. 284). Radna tačka *A* mora opet da bude odabrana na sredini ravnog dijela krivulje modulacije (usporedi sl. 272).

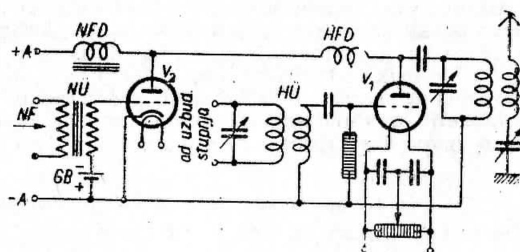


Sl. 283.

402. — Mnogo upotrebljavani način moduliranja je i *anodno-naponska modulacija* prema H e i s i n g u. Na sl. 285. je za promjenu prikazan s t r a n o u z b u d n i odašiljač s direktno žarenom elektronkom V_1 (usporedi odsjek 264 i sl. 277). Visokofrekventni titraji dovedeni od uzbudnog odašiljača prenose se na uzbudni rešetkin krug odašiljačke elektronke V_1 preko visokofrekvetnog transformatora *HÜ*. Djelovanje anodno-naponske modulacije temelji se na činjenici da se izmjenična



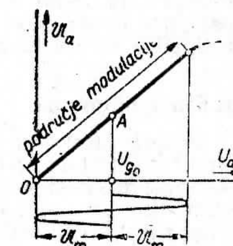
Sl. 284.



Sl. 285.

snaga odašiljačke elektronke, koja radi u klasi *C*, mijenja s kvadratom anodnog istosmjernog napona. Anodna izmjenična struja je dakle proporcionalna anodnom istosmjernom naponu. *Modulatorka V_2 spojena je paralelno odašiljačici V_1.* Anode obiju elektronki spojene su preko zajedničke n i s k o f r e k v e n t n e p r i g u š n i c e *NFD* vrlo velikog induktiviteta (do 200 H) i što manjeg vlastitog kapaciteta na istosmjerni

anodni napon $+A$. Modulacioni titraji *NF* dolaze preko niskofrekventnog transformatora *NÜ* na uzbudnu rešetku modulatorke V_2, pa se tako mijenja unutarnji otpor modulatorske elektronke u ritmu modulacije izmjeničnog napona. S time u vezi mijenja se i anodna struja modulatorke, te na niskofrekventnoj prigušnici nastaje isto takav promjenljiv pad napona, dakle niskofrekventni a n o d n i i z m j e n i č n i n a p o n. Ovaj djeluje na odašiljačku elektronku V_1 preko visokofrekvetne prigušnice *HFD*, koja sprečava otjecanje visokofrekvetnih titraja s odašiljačke elektronke V_1 prema modulatorki V_2. Uslijed toga će a n o d n i i s t o s m j e r n i n a p o n odašiljačke elektronke biti pod utjecajem niskofrekventnog anodnog izmjeničnog napona modulatorke, to jest odašiljačica će biti tonski modulirana. Niskofrekvetne promjene anodne istosmjerne struje dijele se na obje elektronke u obrnutom odnosu unutarnjih otpora elektronki. Da bi se to u istinu dogodilo, mora otpor za izmjeničnu struju niskofrekventne prigušnice *NFD* biti i na nižim tonskim frekvencijama dovoljno velik prema unutarnjem otporu modulatorke V_2. Tada će ukupna struja, koja teče kroz niskofrekventnu prigušnicu *NFD*, biti uvijek jednako velika. Na sl. 286. vidimo k r i v u l j u m o d u l a c i j e za anodno-naponsku modulaciju. Ovdje krivulja modulacije prikazuje ovisnost visokofrekventnog anodnog napona $\mathfrak{U}_a$ odašiljačice V_1 o anodnom istosmjernom naponu U_a. Budući da se za promjene anodnog napona odašiljačka elektronka V_1 ponaša kao omski otpor, krivulja modulacije je p r a v a c.[83]) To znači da se odašiljačica može modulirati do stupnja modulacije od 100% bez izobličenja. No to uspijeva samo onda, ako je uz svaki stupanj uzbuđenja anodni istosmjerni napon modulatorke v i š i od anodnog istosmjernog napona odašiljačice za »ostatak napona«. Modulatorka mora dakle da bude barem iste snage kao i odašiljačica, što predstavlja izvjesnu manu anodno-naponske modulacije po H e i s i n g u. S t u p a n j i s k o r i s t i v o s t i u anodno-naponskoj modulaciji v i š i j e nego u ostalim vrstama modulacija i u cijelom području modulacije j e d n a k o j e v e l i k.



Sl. 286.

Ponavljanje

Kod m o d u l a c i j e r e š e t k i n e s t r u j e po S c h ä f f e r u vrši se moduliranje visokofrekventnih prijenosnih titraja djelovanjem na i s t o s m j e r n u s t r u j u r e š e t k e o d a š i l j a č k e e l e k t r o n k e. Za rešetkin odvodni otpor odašiljačke elektronke služi posebna m o d u-

[83]) To vrijedi općenito samo u slučaju ako se uzbuđenje vrši do prenapetog stanja (vidi odsjek 390). Pri prijelazu iz prenapetog u podnapeto stanje dolazi do skretanja s pravca, budući da tada anodni izmjenični napon može samo još malo da poraste pri porastu anodnog istosmjernog napona.

latorska elektronka (modulatorka), koje se unutarnji otpor mijenja u taktu modulacijskih titraja pomoću niskofrekventnih modulacijskih napona privedenih uzbudnoj rešetki. Kod modulacije anodnog napona prema Heisingu spojena je modulatorka paralelno odašiljačici. Modulatorkom se na niskofrekventnoj prigušnici proizvode niskofrekventni padovi napona, kojima se modulira istosmjerni anodni napon odašiljačke elektronke. Kod modulacije anodnog napona krivulja modulacije savršeno je ravna, te se odašiljačica može modulirati 100%-no bez izobličenja. Samo u tom slučaju mora anodni istosmjerni napon modulatorke biti veći od anodnog istosmjernog napona odašiljačice za »ostatak napona«.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se vrši moduliranje kod modulacije rešetkine struje prema Schäfferu? *Odgovor:* Rešetkina istosmjerna struja odašiljačke elektronke mijenja se pomoću modulacijske elektronke u taktu modulacijskih titraja. Kako je modulatorka u ovom slučaju spojena? *O.:* Spojena je u rešetkin krug odašiljačice i djeluje kao promjenljiv rešetkin otpor. — *P.:* Kako tonfrekventni modulacijski titraji dolaze u krug uzbudne rešetke modulatorke? *O.:* Preko niskofrekventnog transformatora i rešetkine baterije. — *P.:* Može li modulatorka i na neki drugi način biti vezana s odašiljačem? *O.:* Može, i to ne u seriju nego paralelno. — *P.:* Gdje se taj spoj upotrebljava? *O.:* Pri modulaciji anodnog napona prema Heisingu. — *P.:* Kako se vrši ta modulacija? *O.:* Anodni istosmjerni napon odašiljačice mijenja se u taktu niskofrekventnih anodnih napona? — *P.:* Kako nastaje anodni izmjenični napon modulatorke? *O.:* Padom napona uslijed promjene anodne struje u niskofrekventnoj prigušnici velikog induktiviteta, koja je spojena u anodni krug. — *P.:* Koja je osobita prednost modulacije anodnog napona? *O.:* Ona omogućuje 100%-tnu modulaciju bez izobličenja. Stupanj iskoristivosti je viši nego u ostalim načinima moduliranja i ostaje u cijelom području modulacije jednako velik. — *P.:* Koja je mana modulacija anodnog napona? *O.:* Modulatorka mora da bude bar tako velike snage kao što je odašiljačica.

Pitanja

188. Nastaju li i kod frekventne modulacije osim prijenosnih titraja bočni pojasevi frekvencija?

189. Koji spojevi odašiljača, koje smo opisali, rade samouzbudno, odnosno stranouzbudno, a koji od njih s paralelnim, odnosno serijskim napajanjem?

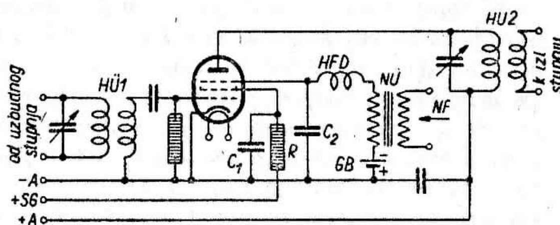
190. Zašto se modulacija anodnog napona prema Heisingu naziva još »paralelnim radom« elektronki?

Zadaci

129. Otpor antene odašiljača s modulacijom rešetkine struje iznosi 20 Ω. Krivulja modulacije teče ravno u području antenske struje od 2,5 do 8,5 A: a) Za koju se vrijednost antenske struje mora modulatorka u nemoduliranom stanju ugoditi? b) Koliku izmjeničnu snagu u tom slučaju daje odašiljač anteni? c) Između kojih se vrijednosti kreće antenska struja pri punom uzbuđenju u granicama ravnog dijela krivulje modulacije? d) Za koji se iznos mijenja antenska struja?

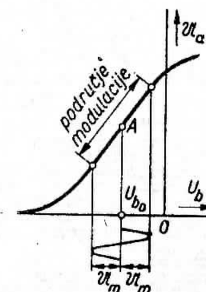
130. Nacrtaj spoj samouzbudnog odašiljača u spoju u tri tačke s modulacijom anodnog napona prema Heisingu!

403. — Kao posljednji način moduliranja upoznat ćemo *moduliranje na trećoj rešetki* (na zapornoj rešetki). U tu svrhu se upotrebljava *pentoda*, u kojoj je treća rešetka posebno izvedena, dakle nije unutar elektronke spojena s katodom (sl. 287). Dade li se trećoj rešetki negativan napon, veći će dio elektrona biti od treće rešetke odbijen i vraćen na zaštitnu rešetku. Na taj se način vrši utjecaj na anodnu struju, pa prema tome i na izmjeničnu snagu, što je pentoda daje. Budući da na treću rešetku zbog njezinog negativnog napona elektroni ne dolaze (nema struje treće rešetke), ovaj se način moduliranja vrši a da se ne troši niskofrekventna energija. Nosprot modulaciji rešetkinog napona



Sl. 287.

(vidi odsjek 400) ovim načinom (moduliranjem na trećoj rešetki) se ne djeluje na ukupnu struju elektrona, nego na razdiobu struje na anodu i zaštitnu rešetku. Kod smanjenja izmjenične snage do vrijednosti nula teče gotovo cijela struja elektrona prema pozitivnoj zaštitnoj rešetki, tako da je ona vrlo jako opterećena (velika snaga gubitka zaštitne rešetke), što uzrokuje sniženje ukupnog stupnja iskoristivosti. Da bi se taj nedostatak ublažio, mora se istodobno uz moduliranje na trećoj rešetki izvršiti i moduliranje na zaštitnoj rešetki bez međusobnog faznog pomaka. U tu svrhu se u dovod zaštitnoj rešetki uključuje omski otpor R (nekoliko kilooma), koji je za visoku frekvenciju premošten kondenzatorom C_1. Što je napon treće rešetke negativniji, to će veća biti struja zaštitne rešetke, te će njezin napon uslijed pada napona na otporu R padati. Ukupna struja, koja teče kroz pentodu, bit će dakle za odgovarajući iznos smanjena. Dodatna modulacija zaštitne rešetke ne zahtijeva također nikakav potrošak vanjske modulacione energije, a koristi utoliko, što se smanjuje snaga gubitka zaštitne rešetke i time povisuje ukupni stupanj iskoristivosti.



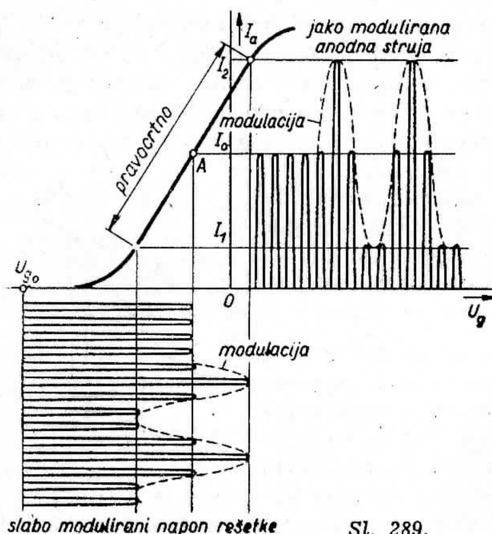
Sl. 288.

404. — Spoj odašiljača na sl. 287. radi sa stranim uzbuđenjem sa serijskim napajanjem anode (v. sl. 281). Niskofrekventni modulacioni titraji dovode se trećoj rešetki preko niskofrekventnog transformatora *NÜ* i rešetkine baterije *GB*. Visokofrekventna prigušnica *HFD* i kondenzator C_2 služe kao filtar za visokofrekventne titraje, da ovi ne bi prešli u niskofrekventni transformator *NÜ*. Krivulja modulacije za modulaciju na trećoj rešetki (sl. 288) predočuje ovisnost visokofrekventnog anodnog napona $\mathfrak{U}_a$ o negativnom istosmjernom naponu treće rešetke U_b.

Istosmjerni napon treće rešetke U_{b_0} mora se u nemoduliranom stanju tako odabrati, da radna tačka A leži u sredini ravnog dijela krivulje modulacije.

405. — Uz zakrivljenu krivulju modulacije 100%-tna modulacija (do potpunog zakočenja elektronske struje) nije moguća bez većih izobličenja. U odašiljačima s više stupnjeva može se stupanj moduliranja popeti skoro do 100% na taj način, da se visokofrekventni titraji u odgovarajućem stupnju moduliranja slabo moduliraju i istom tada dovode uzbudnoj rešetki izlaznog stupnja. Izlazni stupanj djeluje tada još samo kao čisto visokofrekventno pojačalo. Na taj se način može postići gotovo linearan odnos između modulacionog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_m$ modulatorke i anodnog izmjeničnog napona $\mathfrak{U}_a$, odnosno anodne izmjenične struje $\mathfrak{J}_a$ izlaznog stupnja. Izlazni stupanj mora pri tome raditi kao pojačalo u klasi B, odnosno C, da bismo ravni dio U_g—I_a-karakteristike izlaznog stupnja mogli potpuno iskoristiti za pojačavanje modulacijskih titraja bez izobličenja[84]) (sl. 289). Kad se ispravno izabere rešetkin prednapon U_{g0}, prenose se modulacijski titraji vjerno na anodnu struju. Odašiljačica dakle za modulaciju radi kao A-pojačalo s ravnom karakteristikom.

406. — Anodna struja I_0 poprima u nemoduliranom stanju vrijednost takozvane *srednje vrijednosti za telefoniju* (vidi sl. 289) i odašiljačica odašilje tome odgovarajuću snagu prijenosne frekvencije. U moduliranom stanju mijenja se anodna struja od najmanje vrijednosti I_1 do najveće vrijednosti I_2. Najveća vrijednost naziva se još i gornjom *granicom*, a njoj odgovarajuća izmjenična snaga naziva se *snagom gornje granice*. Uz savršeno ravnu U_g—I_a-karakteristiku i sa 100%-tnom modulacijom anodne struje bilo bi $I_2 = 2\,I_0$ i $I_1 = 0$, jer je radna tačka A uvijek u sredini ravnog dijela krivulje modulacije. Izmjenična snaga odašilja-



Sl. 289.

84) Isto vrijedi za eventualne ostale stupnjeve visokofrekventnog pojačala, koji bi se nalazili između moduliranog stupnja i izlaznog stupnja.

čke elektronke mijenja se u tom slučaju između vrijednosti nule i vrijednosti gornje granice, koja je $I_2^2 \cdot R_a = 4 \cdot I_0^2 \cdot R_a = 4 \times$ snaga prijenosne frekvencije. Budući da se 100%-tna modulacija praktički postizava rijetko i kratkotrajno,[85]) odašiljačka elektronka radi s mnogo manjim stupnjem iskoristivosti nego u potpunom iskorištenju, na primjer kod rada telegrafijom. Mora li dakle odašiljač davati snagu prijenosnih titraja od 100 kW, potrebno je računati sa snagom gornje granice od 400 kW. Kako se odašiljačka elektronka zbog zakrivljene karakteristike ne može nikad iskoristiti do gornje granice, potrebne su za snagu gornje granice od 400 kW praktički dvije odašiljačke elektronke s korisnom snagom od 300 kW ili ukupno 600 kW. Veliki se odašiljači zbog toga sve više grade s anodnom modulacijom u izlaznom stupnju, jer se na taj način može postići mnogo viši stupanj djelovanja (vidi odsjek 402).

Ponavljanje

Kod modulacije na trećoj rešetki modulira se istodobno istosmjerni napon treće i druge rešetke pentode, i to bez utroška niskofrekventne energije. Na taj se način djeluje na anodnu struju i na odaslanu izmjeničnu snagu. Kod zakrivljenja karakteristike može se ipak postići 100%-tna modulacija odašiljača bez izobličenja, tako da se visokofrekventni titraji u modulacionom stupnju moduliraju slabo i istom tada dovode uzbudnoj rešetki izlaznog stupnja. Izlazni stupanj mora u tom slučaju raditi kao pojačalo u klasi B ili u klasi C. Kod pojačavanja moduliranih visokofrekventnih titraja mijenja se izmjenična snaga između najmanje vrijednosti i snage gornje granice. Snaga prijenosnih titraja pri 100%-tnoj modulaciji iznosi uz ravnu krivulju modulacije u nemoduliranom stanju samo 1/4 snage gornje granice. Zbog toga se za pojačalo tonski moduliranih titraja moraju upotrijebiti osobito jake elektronke (malen stupanj iskoristivosti). S anodnom modulacijom izlazne elektronke može se postići veći stupanj iskoristivosti.

Pitanja i odgovori

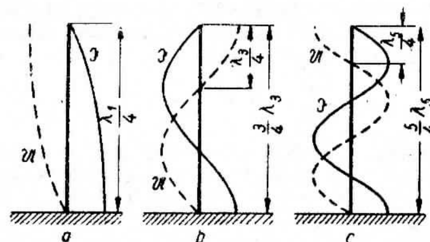
Pitanje: Kako se vrši moduliranje u slučaju modulacije na trećoj rešetki? *Odgovor:* Na anodnu struju, a time i na izmjeničnu snagu pentode, djeluje se promjenama istosmjernog napona treće i druge rešetke u taktu modulacionih titraja. — *P.:* Kamo se dovode modulacioni izmjenični naponi? *O.:* U krug treće rešetke. — *P.:* Kako nastaje modulacija istosmjernog napona druge rešetke? *O.:* Uslijed promjenljive struje druge rešetke dolazi do promjenljivog pada napona na omskom otporu, koji se nalazi u krugu druge rešetke. — *P.:* Kako se može povisiti stupanj moduliranja nekog odašiljača? *O.:* Tako da se prijenosni titraji u modulacijskom stupnju moduliraju slabo i zatim dovode bilo direktno, bilo preko nekog stupnja visokofrekventnog pojačala izlaznom stupnju odašiljača. — *P.:* Koji uvjet treba pri tome ispuniti? *O.:* Stupnjevi odašiljača iza modulacijskog stupnja moraju raditi kao pojačala u klasi B ili C. — *P.:* Zašto je to potrebno? *O.:* Zato da bi ravni dio karakteristike svake elektronke odašiljača mogao biti potpuno iskorišćen za pojačavanje modulacijskih titraja. — *P.:* Što razumijevamo pod snagom prijenosnih titraja i

85) Srednji stupanj modulacije razglasnog odašiljača iznosi 20 do 30%. Stupanj modulacije do 100% postizava se samo kratkotrajno na primjer kad se udara u bubanj.

pod snagom gornje granice? *O.:* Snaga prijenosnih titraja je izmjenična snaga što je daje odašiljač u nemoduliranom stanju, dok je snaga gornje granice najveća izmjenična snaga što je odašiljačka elektronka u moduliranom stanju daje u trenutku najveće anodne struje. — *P.:* Koji odnos postoji između ove dvije snage? *O.:* Snaga gornje granice je pri 100%-tnoj modulaciji i uz ravnu karakteristiku četiri puta veća od snage prijenosnih titraja.

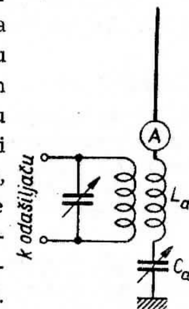
Najvažnije vrsti antena za odašiljanje

407. — Iz dijela I, odsjeka 131. i 135. do 140, poznato nam je da antena može isijavati u prostor električku i magnetsku energiju, dakle elektromagnetsko izmjenično polje. Brzina elektromagnetskih valova u slobodnom prostoru jednaka je brzini svjetlosti c = 300 000 km/s, a u vodičima (u žicama), dakle i u samoj anteni, nešto je manja. Nadalje iz dijela I, odsjeka 151. znamo da iz antene *isijana* snaga raste s kvadratom efektivne antenske izmjenične struje mjerene u strujnom trbuhu. Osim toga smo već u dijelu I, odsjecima 131. do 134, 144. i 145. upoznali L-antenu, T-antenu, Marconijevu antenu, dipolnu antenu, jednožičnu, brodsku i avionsku antenu. Sada ćemo ono ranije stečeno znanje proširiti i podrobnije opisati vrste odašiljačkih antena za kratkovalne i radio-difuzne odašiljače. Osnovni tip svake antene je uspravna jednopolno uzemljena *Marconijeva antena.* Uzbudi li se ova antena visokofrekventnim titrajima, nastat će prema dijelu I, odsjeku 133. i sl. 99. na donjem uzemljenom kraju antene trbuh struje i čvor napona. Radi li Marconijeva antena na svom osnovnom valu, imamo razdiobu antenske izmjenične struje i antenskog izmjeničnog napona prikazanu na sl. 290.-a. O tome se možemo uvjeriti tako da na raznim mjestima u antenu uključimo visokofrekventni ampermetar (mjerenje struje). odnosno antenu dodirujemo nekom tinjalicom (mjerenje napona). Uzbudi li se Marconijeva antena *osnovnim valom,* dakle prvim harmonikom, dužina je l prema sl. 290.-a jednaka četvrtini dužine isijanog vala ($l = \lambda_1/4$). U tom slučaju govorimo također o *četvrtvalnoj anteni.* Budući da je brzina rasprostiranja elektromagnetskog vala u žici nešto manja nego u zraku, treba i dužinu antene l odabrati nešto manjom od $\lambda_1/4$. *Faktor skraćivanja* iznosi oko 0,95. tako da je $l = 0{,}95 \cdot \lambda_1/4$ ili $l = 0{,}2375 \cdot \lambda_1$, to jest dužina jedne Marconijeve antene treba da je 0,2375-kratnik željene dužine vala.



Sl. 290.

408. — Marconijeva antena može biti uzbuđena i jednim od svojih harmoničnih nadvalova. Tako na sl. 290.-b vidimo uzbuđenje s *trećim harmonikom.* U tom je slučaju dužina antene $l = 0{,}95 \cdot 3 \cdot \lambda_3/4$. Na sl. 290.-c prikazano je uzbuđenje *petim harmonikom.* Ovdje je dakle $l = 0{,}95 \cdot 5 \cdot \lambda_5/4$. Antena se može uzbuditi svakim harmonikom, no praktički se to radi s neparnim harmonicima, da bi na donjem kraju antene bio uvijek trbuh struje, odnosno čvor napona (radi uzemljenja). Marconijeva se antena na odašiljač *može vezati* prema sl. 291. u donjem trbuhu struje pomoću zavojnice za vezu L_a. Kondenzatorom C_a može se antena ugoditi na maksimalnu antensku struju, koju možemo očitati na ampermetru *A*. Budući da se antena može uzbuditi i na svojim *harmonicima,* mogu se upotrijebiti i kraći valovi nego što je osnovni val. Antena se naime dimenzionira za najveću pogonsku dužinu vala, tako da se može uzbuditi i na harmonicima, kraćim valnim dužinama. Marconijeva antena ima praktičko značenje samo za veće valne dužine, dok se za kratki val ne preporučuje, budući da zahtijeva besprijekoran i kratak uzemni vod. Kod valne dužine od 20 m predstavlja već uzemni vod dužine od samih 5 m četvrtinu dužine vala!



Sl. 291.

Ponavljanje

Uspravna jednostrano uzemljena Marconijeva antena ima na donjem kraju trbuh struje i čvor napona. Pri uzbuđenju Marconijeve antene osnovnim valom, dakle prvim harmonikom, dužina antene jednaka je jednoj četvrtini isijavane valne dužine pomnoženoj s faktorom skraćivanja 0,95 (četvrtvalna antena). Marconijeva antena može biti uzbuđena i nekim od harmonika. Prednost toga u tome, što se ista antena može upotrijebiti i za kraće valne dužine, nego što je dužina osnovnog vala. Praktički se kod Marconijeve antene radi samo s neparnima harmonicima, pri čemu se odašiljač veže u donjem trbuhu struje. Za kratki val Marconijeva antena nije prikladna, jer zahtijeva besprijekorno i kratko uzemljenje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je Marconijeva antena? *Odgovor:* Uspravna, jednostrano uzemljena antena. — *P.:* Kako je razdijeljena struja i napon uzduž Marconijeve antene? *O.:* U donjem uzemljenom dijelu nalazi se trbuh struje, odnosno čvor napona. — *P.:* Što razumijevamo pod trbuhom struje, odnosno čvorom napona? *O.:* Ono mjesto antene na kojem je jakost struje najveća, nazivamo trbuhom struje, a mjesto na kojem je napon jednak nuli, nazivamo čvorom napona. — *P.:* Kolika je dužina Marconijeve antene uzbuđene osnovnim valom? *O.:* Jednaka je 1/4 dužine isijanog vala, no ta se vrijednost mora pomnožiti s faktorom skraćivanja 0,95, jer se elektromagnetski valovi u žicama šire sporije nego u zraku. — *P.:* Može li se Marconijeva antena uzbuditi i na drugim valnim dužinama? *O.:* Može nekim od harmonika. — *P.:* Koji harmonici dolaze kod Marconijeve antene praktički u obzir? *O.:* Neparni harmonici. — *P.:* Kako se izvodi veza Marconijeve antene s odašiljačem? *O.:* U donjem trbuhu struje pomoću zavojnice za vezu. — *P.:* Kakva je korist od toga što se antena može uzbuditi na harmonicima? *O.:* Ista antena može se upotrijebiti i za kraće valne dužine.

Pitanja

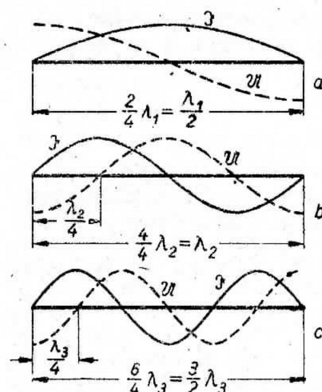
191. Koja smo četiri načina moduliranja upoznali?
192. Kolika je brzina rasprostiranja elektromagnetskih valova?
193. Kolika je dužina Marconijeve antene uzbuđene trećim, odnosno petim harmonikom?

Zadaci

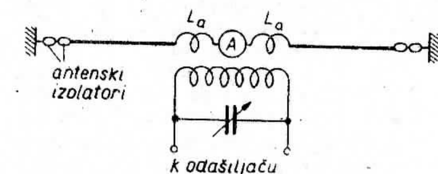
131. Uspravna jednostrano uzemljena Marconijeva antena treba da radi s osnovnom dužinom vala od 360 m: a) Kako visoka mora biti antena? b) Kolike su dužine trećeg i petog harmoničkog nadvala?

132. Kolike su valne dužine prvih pet harmoničkih nadvalova kod uzemljene Marconijeve antene dužine 120 m?

409. — Sada ćemo govoriti o najvažnijim oblicima *kratkovalnih odašiljačkih antena.* Na prvom mjestu je nama već poznat *Hertzov dipol,* koji je H e i n r i c h H e r t z upotrebljavao pri svojim klasičnim pokusima, kojima je pokazao da postoji srodnost između elektromagnetskih valova i valova svjetlosti. Ova antena upotrebljava se još i danas u kratkovalnoj tehnici (dio I, odsjeci 134, 136, 138, 143 i dio II, odsjek 354). Razdioba struje i napona na Hertzovom dipolu, koji je uzbuđen *osnovnim valom,* prikazana je na sl. 292.-a. U sredini dipola nalazi se trbuh struje i čvor napona, a na krajevima je čvor struje i trbuh napona. Izolirano pričvršćen Hertzov dipol *veže se* s odašiljačem obično u s r e d n j e m t r b u h u struje pomoću zavojnice za vezu L_a (sl. 293). U sredini između obiju zavojnica L_a nalazi se ampermetar *A* radi kontrole ugađanja na maksimalnu jakost antenske struje. Dužina antene *l* prema sl. 292.-a jednaka je p o l o v i c i dužine isijavanog vala ($l = \lambda_1/2$, *poluvalni dipol*). Uzevši u obzir faktor skraćivanja (vidi odsjek 407) dobiva se: $l = 0{,}95 \cdot \lambda_1/2$ ili $l = 0{,}475 \cdot \lambda_1$. Na sl. 292.-b vidimo razdiobu struje i napona na dipolnoj anteni uzbuđenoj *drugim harmonikom.* Na krajevima dipola nalazi se po jedan čvor struje i po jedan trbuh napona. Isto vrijedi i za sredinu dipola (obrnuto kod poluvalnog dipola na sl. 292-a). Kako je u ovom slučaju dužina antene $l = 0{,}95 \cdot \lambda_2$, ovdje se radi o *cjelovalnom* dipolu. Mora li i ovdje veza s odašiljačem biti izvedena u trbuhu struje, zavojnica za vezu L_a ne može više biti u sredini, nego se mora smjestiti sa strane. Konačno je na sl. 292.-c prikazana razdioba struje i napona Hertzovog dipola uzbuđenog *trećim harmoni*-



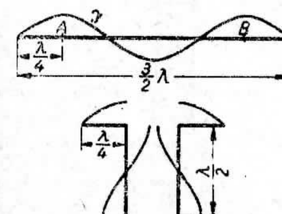
Sl. 292.



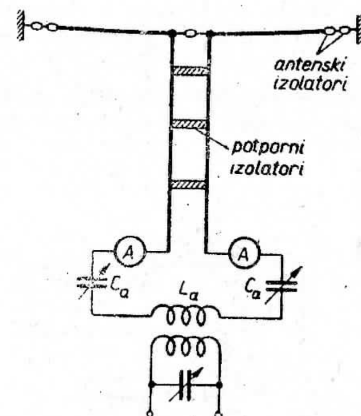
Sl. 293.

kom. Primjećujemo odmah da trbuh struje leži i opet u sredini dipola, tako da se veza s odašiljačem može izvesti u sredini. U tom je slučaju dužina antene $l = 0{,}95 \cdot 3 \cdot \lambda_3/2$. Iz rečenoga slijedi da se veza na odašiljač izvodi u s r e d i n i dipola onda, kada se radi s n e p a r n i m cjelobrojnim višekratnikom polovine valne dužine ($3 \cdot \lambda_3/2$, $5 \cdot \lambda_5/2$, $7 \cdot \lambda_7/2$ itd.). U tom slučaju nalazi se trbuh struje uvijek u sredini dipola.

410. — Vezivanje prema sl. 293. pokazuje da se odašiljač nalazi neposredno uz Hertzov dipol. Budući da se to praktički može teško ostvariti, mora se visokofrekventna energija Hertzovom dipolu dovesti preko *pojnog voda,* koji ima malo gubitaka i koji ne isijava (usporedi odsjek 354)[86]. Takav se pojni vod sastoji od dvije paralelne žice koje posebni *rastavni izolatori* (na primjer od kalita) drže na razmaku od nekih 100 mm. Prerežemo li Hertzov dipol uzbuđen trećim harmonikom (usporedi odsjek 292-c) u sredini i oba dijela dipola u tačkama *A* i *B* savijemo u pravi kut

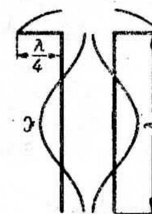


Sl. 294.



Sl. 295.

(sl. 294), a zatim paralelne dijelove približimo jedan drugome, nastat će Hertzov dipol sa pojnim vodom. Vodoravne žice dipola duge jednu četvrtinu v a l n e d u ž i n e djeluju kao poluvalni dipol koji je uzbuđen na osnovnom valu (usporedi sl. 292-a). Struje u paralelnim žicama protivne su u fazi, pa se njihova isijavanja poništavaju (stojni valovi!) Čitav uređaj djeluje kao p o l u v a l n i d i p o l koji je uzbuđen na o s n o v n o m v a l u i koji je u svom trbuhu napajan *ugođenim* pojnim vodom dugačkim također četvrtinu dužine vala. Na sl. 295. prikazana je praktička izvedba *veze* s odašiljačem. Budući da nije samo ta veza, nego i dovod visokofrekventne energije na Hertzov dipol izveden u t r b u h u s t r u j e, naziva se takva vrsta antene *strujno vezanim dipolom.* Dvožilni pojni vod spojen je preko

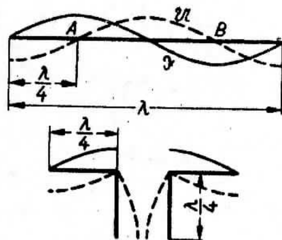


Sl. 296.

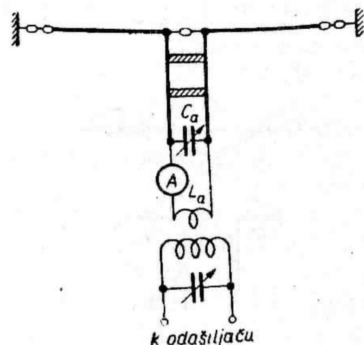
[86]) Pojni vod Amerikanci nazivaju »*feeder*« (izgovaraj: fider).

ampermetara *A* i promjenljivog kondenzatora C_a na zavojnicu za vezu L_a. Kondenzatorima se vrši ugađanje obiju žica pojnog voda na istu jakost struje. Nije neophodno potrebno da se ugađanje pojnog voda izvrši baš na valnu dužinu $\lambda/2$. Pojni vod može također imati dužinu c j e l o b r o j n o g v i š e k r a t n i k a polovine dužine vala (na primjer $2 \cdot \lambda/2 = \lambda$, $3 \cdot \lambda/2$, $4 \cdot \lambda/2 = 2\lambda$ itd., sl. 296).

411. — Može se dogoditi da pojni vod mora biti kraći od polovine dužine vala (na primjer u ograničenom prostoru). Dužina pojnog voda mora tada biti jednaka **č e t v r t i n i** v a l n e d u ž i n e ili n e p a r n o m c j e l o b r o j n o m v i š e k r a t n i k u ove dužine. To se može postići iskorištavanjem **n a p o n s k e k r i v u l j e**. Na sl. 297. prikazan je Hertzov dipol (cjelovalni dipol) uzbuđen drugim harmonikom (usporedi sl. 292-b). Prelomimo li dipol na mjestima *A* i *B* pod pravim kutom, nastat će dvožilni pojni vod dužine od 1/4 dužine vala. *Priključak* na odašiljač ovdje je izveden u t r b u h u n a p o n a pojnog voda, dok se visokofrekventna energija dovodi, kao i ranije, u t r b u h u s t r u j e,



Sl. 297.



Sl. 298.

naime na udaljenosti $\lambda/4$ od krajeva dipola. Ovdje dakle imamo *naponski vezan* i na o s n o v n o m v a l u *strujno uzbuđen dipol*. Sl. 298. prikazuje konačnu praktičku izvedbu priključenja takvog dipola. Za priključenje nije upotrijebljena zavojnica za vezu kao na sl. 295, nego u g o đ e n i t i t r a j n i k r u g L_a—C_a. Pri ugađanju na pogonsku dužinu vala nastat će na krajevima titrajnog kruga veliki naponi, tako da će jakost struje, koja se očitava na ampermetru *A*, dostići maksimalnu vrijednost.

Ponavljanje

Najstarija kratkovalna antena je H e r t z o v d i p o l. Hertzov dipol uzbuđen osnovnim valom ima u sredini trbuh struje i čovr napona, a na krajevima čvor struje i trbuh napona. Dužina antene u ovom slučaju jednaka je polovini isijavane valne dužine. Tačnije $l = 0{,}475 \cdot \lambda_1$ (poluvalni dipol). Uzbudi li se Hertzov dipol drugim harmonikom, dobit ćemo cjelovalni dipol ($l = 0{,}95 \cdot \lambda_2$). U sredini dipola bit će u tom slučaju trbuh napona. Priključenje na odašiljač može se izvesti u trbuhu struje

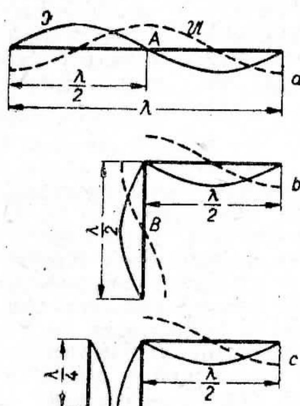
u sredini dipola, ako se radi s polovičnom dužinom vala, ili s neparnim cjelobrojnim višekratnikom ove dužine. Visokofrekventna energija dipolu se najčešće dovodi preko pojnog voda. Pojni vod se sastoji od dvije paralelne antenske žice, kojima je dužina polovina dužine vala ili njezin cjelobrojni višekratnik. Priključenje na odašiljač i dovod visokofrekventne energije izvedeni su u trbuhu struje pojnog voda, odnosno dipola, tako da se radi o s t r u j n o v e z a n o m i s t r u j n o u z b u đ e n o m d i p o l u. Ako je dužina pojnog voda jednaka četvrtini dužine vala ili neparnom cjelobrojnom višekratniku ove, onda se priključenje na odašiljač izvodi u trbuhu napona pojnog voda, dok se visokofrekventna energija dipolu dovodi i opet u trbuhu struje. Tada se radi o *naponski vezanom, strujno uzbuđenom dipolu*. Ovdje se za priključenje ne upotrebljava jednostavna zavojnica za vezu, nego ugođeni titrajni krug.

Pitanja i odgovori

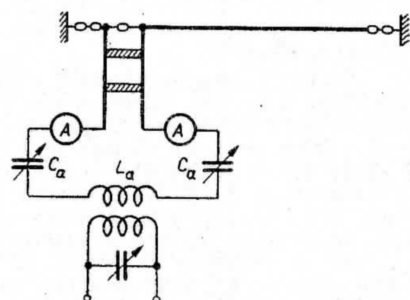
Pitanje: Kakva je razdioba struje i napona kod Hertzovog dipola uzbuđenog osnovnim valom? *Odgovor:* U sredini dipola nalazi se trbuh struje i čvor napona, a na krajevima po jedan čvor struje i trbuh napona. — *P.:* Zašto u ovom slučaju možemo govoriti o poluvalnom dipolu? *O.:* Zato, jer je dužina antena jednaka otprilike 1/2 dužine vala (tačnije $l = 0{,}475\ \lambda_1$). — *P.:* Može li Hertzov dipol raditi također kao cjelovalni dipol? *O.:* Može, ali tada se mora uzbuditi drugim harmonikom. — *P.:* Kada se Hertzov dipol može priključiti u trbuhu struje sredine dipola? *O.:* Ako se uzbuđuje neparnim cjelobrojnim višekratnikom polovične dužine vala. — *P.:* Koja je svrha pojnog voda? *O.:* On dovodi visokofrekventnu energiju od odašiljača. — *P.:* Kako je građen pojni vod? *O.:* Pojni vod čine dvije paralelne antenske žice, koje izolatori drže na razmaku od kojih 100 mm. — *P.:* Koja je svrha paralelnog vođenja žica pojnog voda? *O.:* Njihovo se isijavanje međusobno poništava, tako da pojni vod prema van ne isijava ništa. — *P.:* Što znači strujno vezan strujno uzbuđen dipol? *O.:* To je dipol kojega je veza s odašiljačem i dovod visokofrekventne energije izveden u trbuhu struje. — *P.:* Kako dug mora da bude pojni vod takvog dipola? *O.:* Treba da je jednak polovici valne dužine ili da je njezin cjelobrojni višekratnik. — *P.:* Što je naponski vezan strujno uzbuđen dipol? *O.:* To je dipol, kojeg je priključak na odašiljač izveden u trbuhu pojnog voda, a dovod visokofrekventne energije u strujnom trbuhu dipola. — *P.:* Kako dugačak mora da bude pojni vod u ovom slučaju? *O.:* Mora da bude jednak 1/4 dužine vala ili neparnom cjelobrojnom višekratniku ove. — *P.:* Kakva je razlika između strujno vezanog i naponski vezanog dipola? *O.:* U strujnoj vezi upotrebljava se za vezu obična zavojnica, a u naponskoj vezi ugođeni titrajni krug.

412. — Kod dipola koje smo dosada opisali izvedena je veza s odašiljačem uvijek u s r e d i n i d i p o l a. Često je svrsishodnije dovod visokofrekventne energije priključiti na k r a j dipola. Na sl. 299. prikazano je kako nastaje dipol uzbuđen na kraju pomoću pojnog voda koji ne isijava. Pođimo od cjelovalnog dipola (usporedi odsjek 297) i savijmo ga u sredini *A* pod pravim kutom (sl. 299-a), zatim prerežimo okomiti dio dipola u sredini *B* (sl. 299-b) i zakrenimo njegov donji dio za 180°, te ga postavimo paralelno s preostalim okomitim dijelom (sl. 299-c). Dužina dipola odgovara p o l o v i n i d u ž i n e v a l a (o s n o v n i v a l), a dužina pojnog voda 1/4 d u ž i n e v a l a. Budući da je pojni vod priključen u t r b u h u s t r u j e (dolje), a dipol uzbuđen u t r b u h u

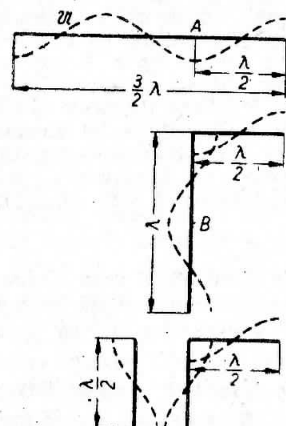
n a p o n a (gore), imamo pred sobom *strujno vezan*, a *naponski uzbuđen dipol*, uzbuđen o s n o v n i m v a l o m. Jedna od žica pojnog voda spojena je s dipolom, dok druga svršava prazno (izolirano). Takva je antena po prvi put upotrijebljena na zračnim brodovima i odatle joj naziv *Zeppelin-antena* ili *Beggerow-antena*. Ovu je antenu lakše postaviti nego Hertzov dipol i daje dobre rezultate. Zato je ova antena među kratkovalnim amaterima vrlo omiljela. Praktička izvedba ovakve veze prikazana je na sl. 300, i nisu joj potrebna nikakva objašnjenja (usporedi sl. 295). Mora li pojni vod biti duži od 1/4 dužine vala, može se zadržati isti način veze i uzbuđivanja, ukoliko je dužina pojnog voda jednaka n e p a r n o m cjelobrojnom višekratniku 1/4 dužine vala. Konačno se Zeppelin-antena može izvesti i kao *naponski vezan, strujno uzbuđen dipol*. Nastajanje ovakvog dipola prikazano je na način kao u prethodnom slučaju na sl. 301. Polazna tačka u ovom slučaju je dipol uzbuđen harmonikom (usporedi sl. 292-c). Iz odnosa napona razabiremo da se Zeppelin-anteni uzbuđenoj o s n o v n i m valom visokofrekventna energija dovodi u trbuhu napona (gore), i da je priključak pojnog voda na odašiljač također izveden u trbuhu napona (dolje). Dužina pojnog voda mora u ovom slučaju da bude jednaka p o l o v i n i dužine osnovnog vala ili cjelobrojnom višekratniku ove. Praktično priključivanje pojnog voda prikazano je na sl. 298.



Sl. 299.

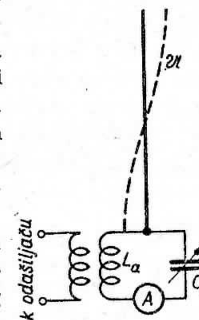


Sl. 300.



Sl. 301.

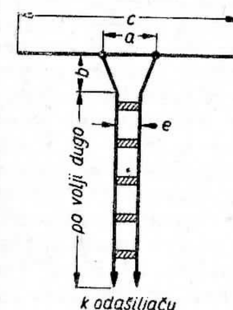
413. — Nadomjestimo li pojni vod Zeppelin-antene titrajnim krugom L_a—C_a, koji je s odašiljačem s l a b o vezan i ugođen na pogonsku frekvenciju, nastat će *Fuchsova antena*[87], sl. 302). Budući da je na kraju Fuchsove antene uvijek t r b u h n a p o n a (usporedi sl. 292), može se ova antena uzbuditi i na s v a k o j harmoničkoj frekvenciji, ukoliko se to isto može učiniti i s titrajnim krugom. Tada govorimo o *direktno naponski uzbuđenoj anteni*. Dužinu Fuchsove antene treba odabrati tako da bude barem 0,95 × dužina vala. Fuchsovu antenu treba postaviti visoko i slobodno, bez jačih koljena. Priključak na odašiljač mora se tada izvesti *s neugođenim* pojnim vodom sa zavojnicom za vezu.



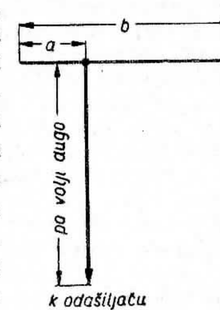
Sl. 302.

414. — Svi pojni vodovi koje smo dosada opisali ugođeni su na pogonsku dužinu vala ili na višekratnik ove (vidi odsjek 410), kako bi se dobili stojni valovi. To ima svoju manu u tome, što je otpor za izmjeničnu struju za svaku tačku pojnog voda drugačiji. Otpor za izmjenične struje je naime u trbuhu struje najmanji, a u čvoru struje najveći. Dovod visokofrekventne energije pojnim vodom do odašiljačke antene može se bez gubitaka postići samo onda, ako nema trbuha struje i napona, već se struja, napon i otpor za izmjeničnu struju preko pojnog voda *jednoliko* porazdijele. Na pojnom vodu neće tada nastati stojni valovi, nego će doći do *putujućih valova*. Da se ovo postigne, pojni vod mora biti završen otporom antene, koji je jednak *valnom otporu* pojnog voda. Ovaj se postupak naziva *prilagođenjem pojnog voda*. Valni otpor je prema dijelu I, odsjeku 118. jednak kvadratnom korijenu iz odnosa samoinduktiviteta i kapaciteta pojnog voda. Za veličinu valnog otpora mjerodavan je samo međusobni razmak žica pojnog voda i njihov promjer, a nikako dužina pojnog voda. Nasuprot ugođenom pojnom vodu možemo ovakav pojni vod učiniti p o v o l j i d u g i m i ne trebamo se više obazirati na pogonsku dužinu vala.

415. — Na sl. 303. prikazan je *Hertzov dipol s prilagođenim dvožičnim pojnim vodom*. Simetrično u sredinu dipola umetnut je komad antenske žice dužine *a*, koji odgovara valnom otporu pojnog voda i služi kao završni otpor. Veličine *a* i *b* ravnaju se prema valnom otporu pojnog voda. Općenito se rado upotrebljava valni otpor od 600 oma. Za taj je slučaj $a = 0{,}24$ $\lambda/2$, ili $a = 0{,}12\,\lambda$, i $b = 0{,}15\,\lambda$, gdje je λ pogonska dužina vala.



Sl. 303.



Sl. 304.

Označuje li nadalje *d* promjer žice, za valni je otpor od 600 Ω razmak žice $e = 75 \cdot d$. Za žicu debljine 2,4 mm imamo da je razmak žice pojnog

[87]) Ovakvu je antenu prvi puta upotrijebio *Fuchs* u Beču.

voda $e = 75 \cdot 2{,}4 = 180$ mm. Ova vrst antena odlikuje se naročito dobrim svojstvima i vrlo se mnogo upotrebljava kao vertikalna antena za ultrakratki val. Konačno na sl. 304. vidimo jednu podvrstu, naime Hertzov *dipol s prilagođenim jednožičnim pojnim vodom.* Pojni vod mora da bude priključen na stanovitoj udaljenosti od kraja dipola, kako bi otpor za izmjeničnu struju u priključnoj tački bio jednak valnom otporu pojnog voda. Tako na pojnom vodu neće nastati stojni valovi, te pojni vod neće isijavati energiju i može biti po volji dugačak. Praktički vrijede ovi podaci: dužina dipola $b = 0{,}483\,\lambda$, udaljenost $a = (1/6)\,\lambda$. Vrijednost za a tačna je za žicu promjera 1 mm, a kod deblje, odnosno tanje žice bit će veća, odnosno manja.

Ponavljanje

Zeppelin-Beggerow-antena sastoji se od horizontalnog dipola i okomitog dvožičnog pojnog voda, kod kojeg jedna žica svršava izolirano. Ako je dužina pojnog voda jednaka 1/4 dužine vala ili neparnom cjelobrojnom višekratniku ove, onda se priključak na odašiljač izvodi u trbuhu struje, a uzbuđenje dipola u trbuhu napona (strujno vezan, naponski uzbuđen dipol). Zeppelin-antena može biti izvedena i kao naponski uzbuđen dipol. Dužina pojnog voda mora da bude jednaka polovini dužine vala ili cjelobrojnom višekratniku ove. Fuchsova antena je dipol kojeg je kraj vezan direktno na titrajni krug ugođen na pogonsku dužinu vala; za priključivanje na odašiljač upotrebljava se neugođen pojni vod. Kako bi dovođenje visokofrekventne energije preko pojnog voda do odašiljačke antene bilo sa što manje gubitaka, mora pojni vod da bude završen otporom antene, koji je jednak valnom otporu pojnog voda (najčešće 600 oma). U tom se slučaju jakost struje, napon i otpor za izmjeničnu struju raspodijeli jednoliko uzduž pojnog voda. Pri tome se jednožični ili dvožični pojni vod može učiniti po volji dugačak, bez obzira na dužinu vala.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građena Zeppelin-Beggerow-antena? *Odgovor:* Ona se sastoji od horizontalnog dipola, koji se uzbuđuje preko dvožičnog okomitog pojnog voda kojega jedna žica svršava prazno (izolirano). — *P.:* Gdje se uzbuđuje Zeppelin-antena? *O.:* U trbuhu napona na kraju dipola. — *P.:* Kako se može Zeppelin-antena priključiti na odašiljač? *O.:* U donjem trbuhu struje pojnog voda, ako je pojni vod jednak četvrtini dužine vala, ili neparnom cjelobrojnom višekratniku ove, ili pak u donjem trbuhu napona pojnog voda, ako je pojni vod jednak polovini dužine vala ili cjelobrojnom višekratniku ove. — *P.:* Kako je građena Fuchsova antena? *O.:* Ona se sastoji od dipola koji je s jedne strane vezan direktno na titrajni krug ugođen na pogonsku dužinu vala. — *P.:* S kakvim uzbuđivanjem radi Fuchsova antena? *O.:* S direktnim naponskim uzbuđivanjem. — *P.:* Koje su mane ugođenih pojnih vodova? *O.:* Struja, napon i otpor za izmjeničnu struju nisu jednoliko raspodijeljeni uzduž pojnog voda, te se dovod visokofrekventne energije ne vrši bez gubitaka. — *P.:* Kako se ta mana može otkloniti? *O.:* Tako da se pojni vod završi otporom antene, koji je jednak valnom otporu pojnog voda. — *P.:* Koja je još prednost s time vezana? *O.:* Pojni vod može biti, bez obzira na pogonsku dužinu vala, po volji dugačak. — *P.:* Na što treba paziti kod priključivanja jednožičnog ili dvožičnog voda na dipol? *O.:* Priključak mora da bude izveden na ispravnom mjestu, kako bi otpor antene na tom mjestu bio jednak valnom otporu pojnog voda.

Pitanja

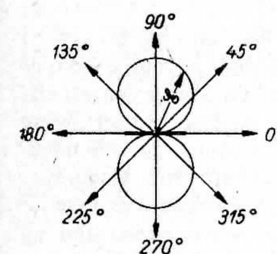
194. Koji uvjeti vrijede za upotrebu ugođenih, odnosno prilagođenih pojnih vodova?
195. Koja vrst dipola radi kao Zeppelin-antena?
196. Koja je vrst kratkovalnih antena osobito dobrog učinka, pa se upotrebljava i za ultrakratke valove?

Zadaci

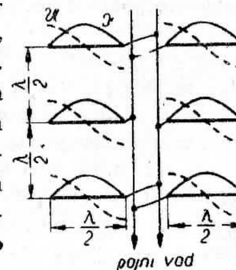
133. Hertzov dipol odmjeren za najveću dužinu vala od 42.86 m s ugođenim pojnim vodom mora da radi na drugom harmoniku: a) Najcrtaj razvoj postanka pojnog voda! b) Kako dugačka treba da bude antenska žica samog dipola? c) Koju dužinu mora da ima pojni vod s naponskom vezom?
134. Zeppelin-antena radi s osnovnom dužinom vala 40,1 m: a) Kako je dugačka antenska žica? b) Kako je dugačak pojni vod sa strujnom vezom i c) s naponskom vezom? d) Nacrtaj praktički spoj za slučaj naponske veze!
135. Kako treba dimenzionirati Hertzov dipol s prilagođenim dvožičnim vodom za osnovnu dužinu vala od 75 m, ako je promjer žice 2 mm?

416. — Prednost kratkih valova prema dugima je ta, da se mogu razmjerno jednostavno s manjim antenama usmjeriti. U tu se svrhu upotrebljavaju posebne *usmjerne antene* koje visokofrekventnu energiju isijavaju samo u jednom ili u dva smjera. Ovakvim usmjernim antenama znatno se poboljšava korisna snaga isijavanja odašiljača (vidi dio I, odsjek 153), tko da je na mjestu prijema uz istu jakost odašiljača polje mnogo jače nego uz upotrebu obične antene. Budući da se usmjerna antena može upotrijebiti uvijek samo za jednu određenu dužinu vala, dolazi praktički u obzir samo za vezu između dviju stalnih stanica i za prekomorsku vezu, na primjer za komercijalne potrebe i za radio-difuzne emisije. Često se usmjerne antene vrlo uspješno upotrebljavaju i kao *prijemne antene* (vidi odsjek 354).

417. — Osnovni sastavni dio usmjerne antene je *poluvalni dipol.* Već i obični dipol ima izrazito *usmjerno djelovanje.* Na sl. 305. vidimo karakteristiku isijavanja (polarni prikaz) horizontalnog ili vertikalnog poluvalnog dipola (usporedi dio I, odsjek 180 i sl. 129). Ova se karakteristika isijavanja dobiva na taj način da se izmjeri ili proračuna jakost polja u jednakoj udaljenosti oko odašiljačke antene. Karakteristika isijavanja prikazana je s dva kruga, to jest visokofrekventna energija bit će isijavana uglavnom okomito na osovinu dipola. Smjestimo li više horizontalnih međusobno izoliranih parova poluvalnih dipola na razmacima

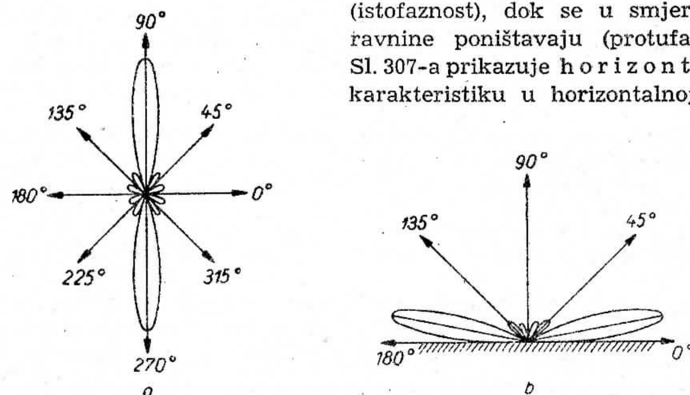


Sl. 305.



Sl. 306.

od pola valne dužine jedan iznad drugoga, dobit ćemo jednostavnu usmjernu antenu (sl. 306). Poluvalni dipoli vezani su naizmjence s desnom i lijevom žicom zajedničkog pojnog voda; oni su dakle svi uzbuđivani istofazno (usporedi sl. 292-a). Karakteristika isijavanja usmjerne antene ima oblik dvostruke kaplje (sl. 307). Nastat će dakle dva izrazita suprotna usmjerena snopa isijavanja. To se tumači time, da se isijavanja dipola okomito na ravninu spajanja dipola zbrajaju (istofaznost), dok se u smjeru ove ravnine poništavaju (protufaznost). Sl. 307-a prikazuje horizontalnu karakteristiku u horizontalnoj ravnini otprilike okomito na plohu dipola (antenskog zida) usmjerne antene, a sl. 307.-b prikazuje okomitu karakteristiku u okomitoj ravnini, koja je položena u glavnom smjeru isijavanja usmjerne antene[88]. Vidimo kako je snop isijavanja u okomitoj ravnini pod utjecajem površine zemlje otklonjen nešto prema gore, što je vrlo povoljno, jer se energija kratkih valova u blizini površine zemlje, kako je poznato, vrlo brzo gubi (vidi odsjek 345). Usmjerivanje u vertikalnom ili horizontalnom smjeru može se pojačati tako da se poveća broj dipola koji su poredani jedan pokraj drugoga, odnosno jedan iza drugoga[89]. S brojem dipola raste također jakost polja na mjestu prijema.

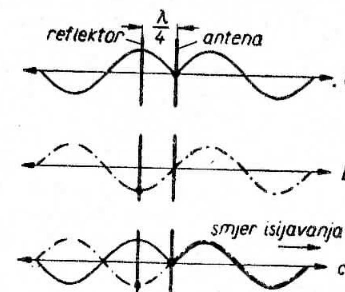


Sl. 307.

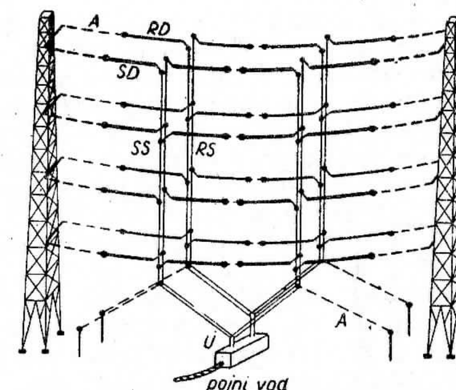
418. — Usmjerno odašiljanje može se poboljšati ako se isijavanje unatrag spriječi i iskoristi samo za isijavanje u jednom pravcu. Jednosmjerno isijavanje postiže se praktički na taj način da se iza antenskog zida upotrebljenog za isijavanje postavi u udaljenosti od jedne četvrtine dužina vala još jedan paralelni, potpuno na isti način građeni *reflektorski zid*. Time se postizava da se unatražno visokofrekventno isijavanje na reflektorskom zidu reflektira i prednje isijavanje pojača na dvostruku vrijednost. To uspijeva samo onda, ako su visokofrekventni titraji reflektora prema visokofrekventnim titrajima »isijavala« (same antene) pomaknuti u fazi za 90°. Način djelovanja ovakve *usmjerne antene s reflektorom* vidi se jasno na sl. 308. Isijavanje antene (sl. 308-a) i u fazi za 90° pomaknuto isijavanje reflektora (sl. 308-b) zbrajaju se samo u jednom pravcu (prednjem smjeru), dok se isijavanje u stražnjem smjeru poništava (sl. 308-c). Dalje je na sl. 309. prikazan primjer praktičke izgradnje usmjerne antene s reflektorom sa šesnaest dipola (način gradnje Telefunken). Pojni vodovi antene i reflektora spojeni su preko antenskog transformatora, koji se nalazi u neposrednoj blizini antene.. Taj transformator služi za prijenos energije uz male gubitke s kabela za dovod energije na usmjernu antenu i istodobno za stvaranje faznog pomaka između antene i reflektora. S preklopkom, koju se stavlja u pokret iz daljine, mogu se antena i reflektor zamijeniti i tako okrenuti smjer isijavanja, davati dakle emisije u suprotnom pravcu.

[88]) Osim glavnih snopova isijavanja postoji još nekoliko sporednih snopova.

[89]) Veliki odašiljači imaju i do sto pojedinačnih dipola.



Sl. 308.



Sl. 309.

Ponavljanje

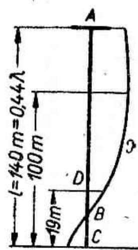
Stupanj iskoristivosti isijavanja nekog odašiljača može se povećati upotrebom usmjerne antene. Jednostavna usmjerna antena sastoji se od više poluvalnih dipola postavljenih vodoravno jedan povrh drugoga na razmaku od polovine valne dužine. Ovi se dipoli napajaju istofazno preko zajedničkog pojnog voda. Karakteristika isijavanja ovakve usmjerne antene ima oblik dvostruke kaplje, to jest postoje dva snopa isijavanja u dva suprotna pravca. Usmjerenje isijavanja može se pojačati povećanjem broja dipola poredanih jedan pokraj drugoga ili jedan povrh drugoga. Daljnje povećavanje korisnog stupnja isijavanja može se postići potiskivanjem unatražnog isijavanja pomoću reflektorskog zida. Ovaj je građen od poluvalnih dipola, kao i antenski zid. Nalaze li se antena i reflektor na razmaku od četvrtine valne dužine i ako su njihovi titraji međusobno pomaknuti u fazi za 90°, uslijed potiskivanja isijavanja u jednom smjeru bit će isijavanje u drugom smjeru udvostručeno.

Pitanja i odgovori

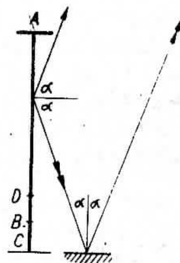
Pitanje: Koja je prednost usmjerne antene? *Odgovor:* Korisni stupanj isijavanja odašiljača znatno se povećava, a time i jakost polja na mjestu prijema. — *P.:* Od kojih se glavnih sastavnih dijelova sastoji usmjerna

antena? *O.:* Od jednostavnih poluvalnih dipola. — *P.:* Kako izgleda karakteristika isijavanja poluvalnog dipola? *O.:* Kao osmica. — *P.:* Kako se sposobnost usmjerivanja može povećati? *O.:* Tako da se više horizontalnih dipola postave na razmaku od polovine dužine vala jedan povrh drugoga. — *P.:* Kakav izgled ima tada karakteristika isijavanja? *O.:* Oblik dvostruke kaplje i u horizontalnoj i u vertikalnoj ravnini. — *P.:* Kako se može korisni stupanj isijavanja odašiljača još više poboljšati? *O.:* Potiskivanjem isijavanja u suprotnom pravcu. — *P.:* Kako se to izvodi? *O.:* Iza antenskog zida upotrijebljenog za isijavanje postavi se isto tako građeni reflektorski zid na razmaku četvrtine dužine vala.

419. — Na koncu naših razmatranja o odašiljačkim antenama spomenut ćemo još najvažnije vrsti *odašiljačkih antena za ublažívanje fejdinga.* Iz dijela I, odsjeka 158. znamo, da se na udaljenosti od 50 do 150 km od odašiljača primjećuju smetnje u prijemu, koje nastaju uslijed interferencije površinskih i prostornih valova. Te se smetnje ne mogu ukloniti povećavanjem snage u anteni odašiljača. No pokazalo se da se mogu ublažiti i to tako, da se anteni dade p o s e b a n o b l i k. Prostorno isijavanje antene potrebno je što više smanjiti, a horizontalno (površinski val) što više pojačati. To se postizava najjednostavnije pomoću *jednožične antene sa završnim kapacitetom.* Ovdje se radi o antenskoj žici koja je ovješena u osi drvenog tornja, a na gornjem se kraju nalazi završni kapacitet u obliku metalnog prstena (vidi dio I, odsjek 144 i sl. 110). Tako je na primjer na razglasnom odašiljaču u Bratislavi (λ=316 m) visina antenske žice 140 m, a promjer metalnog prstena 10 m. Zbog završnog kapaciteta antenska struja nije na gornjem vrhu antene jednaka nuli. Osim toga je antenska struja u sredini antene zbog utjecaja završnog kapaciteta također veća. Dužina antene je znatno veća nego kod četvrtvalne antene, naime jednaka je 0,44 λ. Razdioba struje uzduž antene prikazana je na sl. 310. Na visini otprilike 100 m nalazi se trbuh struje, a na visini od kojih 19 m čvor struje. Isijavanje na daljinu dolazi samo od dijela antene *AD* (visinski dipol), jer se isijavanja dijelova *BC* i *BD* zbog protufaznosti poništavaju. Strmo isijavanje (jednostruka strelica na sl. 311) gornjeg dijela antene *AD* znatno je oslabljeno u kutnom području $\alpha \approx 65^0$ do 90^0, i to zbog isijavanja koja se reflektiraju od zemlje (dvostruka strelica). Oba ova isijavanja imaju naime zbog geometrijskih dimenzija antene fazni pomak otprilike jednak polovici dužine vala. Time se širina područja bez fejdinga otprilike podvostručuje.



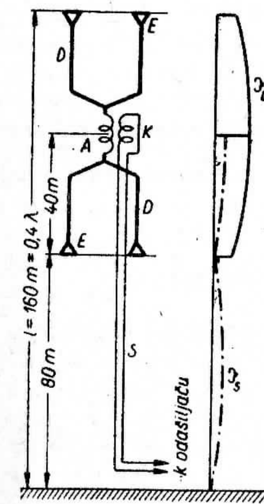
Sl. 310.



Sl. 311.

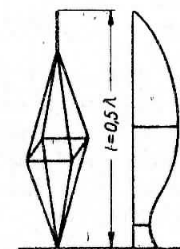
420. — Druga antifejding-antena je *visinska dipolna antena,* koja je upotrijebljena na primjer na razglasnom odašiljaču u Münchenu (=405 m, sl. 312). Visinski dipol montiran je u drvenom tornju visokom 163 m. Na visini od 80 m iznad zemlje nalaze se dva 80 m duga dipola sa završnim kapacitetima na kraju. Sredine dipola spojene su na visini od 120 m u

zavojnici *A*. Strujno uzbuđenje dipola izvodi se sa zavojnicom za vezu *K*, koja je vezana s pojnim vodom *S* smještenim u nutrini drvenog tornja. I ovdje se prostorno isijavanje dipola pod kutom od 55^0 do 90^0 gotovo poništava uslijed međusobnog djelovanja direktnog i od površine zemlje reflektiranog vala (vidi odsjek 419). Dalje je na sl. 132. prikazana raspodjela struje na visinskom dipolu $\mathfrak{J}_D$ i u pojnom vodu $\mathfrak{J}_S$. Vidimo da struja na krajevima dipola zbog završnog kapaciteta nije jednaka nuli, nego otprilike polovici najveće vrijednosti. Ukupna visina tornja iznosi oko 0,4 λ, a Marconijeve antene samo 0,25 λ (vidi odsjek 407). Za duge valove potreban je dakle za ovješenje visinskog dipola vrlo velik i skup drveni toranj.



Sl. 312.

421. — Konačno na sl. 313. vidimo *stup-antenu* koja se također upotrebljava za ublažívanje fejdinga (na primjer odašiljač u Beču). U ovom slučaju djeluje čitav metalni antenski toranj kao odašiljačka antena. Istrbušeni srednji dio povećava kapacitet antene u sredini, dok je kapacitet na vrhu antene jednak nuli. Sl. 313. prikazuje raspodjelu antenske struje. Trbuh struje leži i opet visoko gore, naime otprilike u polovici visine antene. Visina same antene jednaka je otprilike polovini dužine vala. Slabljenje strmog prostornog isijavanja nije kod ove vrste antene toliko kao kod jednožične antene ili kod visinskog dipola.



Sl. 313.

Ponavljanje

Širina područja bez fejdinga nekog razglasnog odašiljača može se znatno povećati upotrebom antene koja u b l a ž u j e f e j d i n g. Svojstvo je takve antene da oslabljuje strmo isijavanje u području između 55^0 do 90^0. To se postizava međusobnim djelovanjem strmog isijavanja prema gore i isijavanja prema dolje, koje se reflektira od površine zemlje. Najvažniji primjeri antifejding-antene su: j e d n o ž i č n a a n t e n a s a z a v r š n i m k a p a c i t e t o m, v i s o k a d i p o l n a a n t e n a i s t u p - a n t e n a. Kod svih ovih antena nalazi se trbuh struje visoko iznad zemlje.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koju svrhu imaju antifejding-antene? *Odgovor:* One udaljuju zonu fejdinga od odašiljača. — *P.:* Kako se to može postići? *O.:* Davanjem osobitog oblika anteni, a nikako povećavanjem energije odašiljača. — *P.:* Koje smo antifejding-antene upoznali? *O.:* Jednožičnu antenu sa završnim kapacitetom, visoki dipol i stup-antenu. — *P.:* Kako se

s ovim antenama postizava ublaženje fejdinga? *O.:* Oslabljuje se strmo isijavanje pod kutom od 55° do 90°. — *P.:* Koje su mane antifejding-antena prema Marconijevoj anteni? *O.:* One su veće visine, koja iznosi oko 0,4 do 0,5 λ, dok je Marconijeva antena visoka samo 0,25 λ.

Pitanja

197. Gdje se upotrebljavaju usmjerne antene?
198. Koja antena ima najveći stupanj iskoristivosti?
199. Kako dolazi do fejdinga?

Zadaci

136. Kako visok mora da bude antenski toranj neke Marconijeve antene, jednožične antene sa završnim kapacitetom, visoke dipolne antene i stup-antene, ako su uzbuđene osnovnim valom, a prijenosna frekvencija je 800 kHz?

Spoj i način gradnje velikog odašiljača

422. — U posljednjem poglavlju upoznali smo osnovne principe djelovanja svakog pojedinog stupnja odašiljača i odašiljačke antene. Pri završetku ovih razmatranja upoznat ćemo se sa spojem i načinom gradnje *velikog razglasnog odašiljača.* Pri tom ćemo vidjeti kakvo je majstorsko djelo moderni veliki odašiljač. Slijedeći primjeri odnose se na odašiljače Berlin-Tegel, odnosno Hamburg, no oni vrijede analogno i za ostale velike razglasne odašiljače. Iako nećemo ulaziti u sve pojedinosti, ipak ćemo upoznati sve što je pri gradnji velikog razglasnog odašiljača od osnovne važnosti. Pojednostavnjena shema berlinskog odašiljača prikazana je na sl. 314. To je odašiljač *sa sedam stupnjeva, strano uzbuđen, uzbuđivan kvarcovim kristalom, s modulacijom napona na rešetki.* Odašiljač radi s prijenosnom frekvencijom 841 kHz, odnosno na valnoj dužini 356,7 m. Snaga prijenosne frekvencije (antenska snaga) iznosi 100 kW (usporedi odsjek 406). Budući da se izmjenična snaga, koju dobavlja uzbudni odašiljač (stupanj I) od jedva 0,5 W pojačava na izmjeničnu snagu od 100 kW, to jest 200 000 puta, mora se spriječiti svako nepoželjno povratno djelovanje pojedinog stupnja na prethodni stupanj. To se postizava između ostaloga slabom vezom među pojedinim stupnjevima, tako da se uvijek samo jedan dio pojačane izmjenične snage dovodi na uzbudnu rešetku slijedećeg stupnja.

423. — *Prvi stupanj* radi *kao oscilator s kristalom* u Huth-Kühnovom spoju (vidi sl. 262) s direktno žarenom triodom RS 241 (najveća snaga gubitka na anodi $N_{vmax} = 15$ W, najveća anodna izmjenična snaga $\mathfrak{N}_{amax} = 15$ W, pogonski anodni istosmjerni napon $U_a = 400$ V). U anodnom krugu nalazi se umjesto uobičajenog titrajnog kruga zavojnica s više odvojaka. Oscilator s kvarcom radi na prijenosnoj frekvenciji 841 kHz i daje izmjeničnu snagu od jedva 0,5 W. U *drugom stupnju* nalazi se također trioda RS 241 i djeluje kao *odjelni stupanj,* da bi se spriječilo povratno djelovanje moduliranja (u petom stupnju) na frekvenciju oscila-

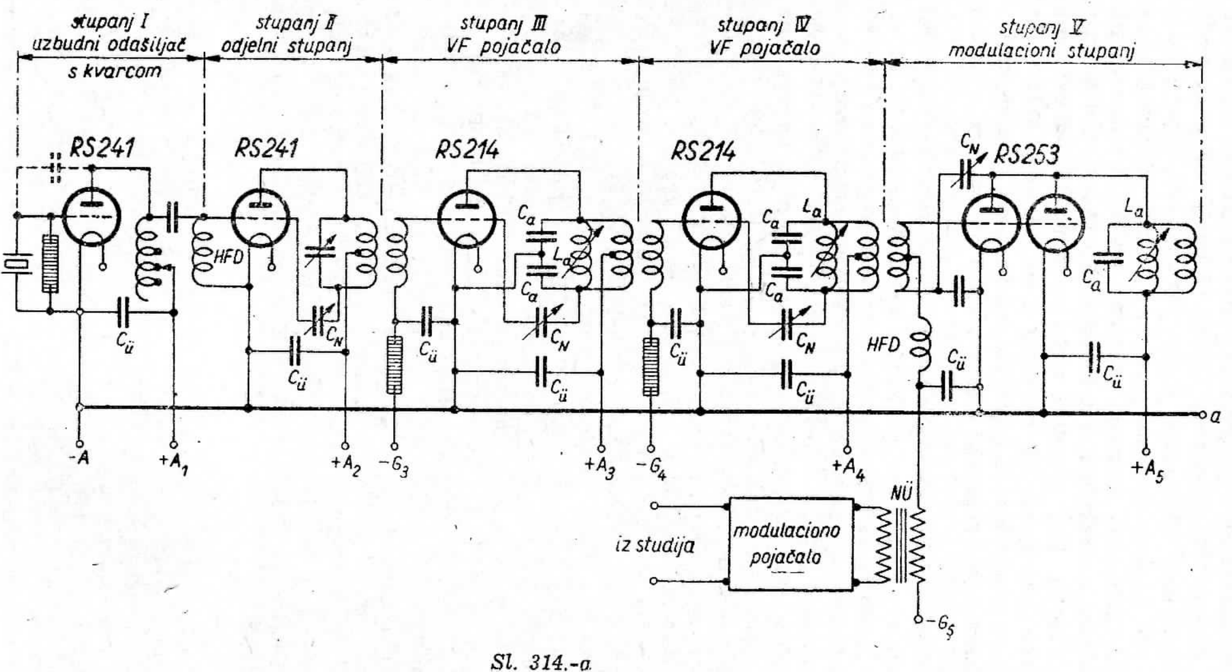
tora. Na taj način ne može nastati dodatna frekventna modulacija u taktu modulacione frekvencije (vidi odsjek 398). Odjelni stupanj, koji je spojen kao visokofrekventno pojačalo s anodnom neutralizacijom (vidi sl. 265) radi praktički bez rešetkine struje i predaje dalje od prvog stupnja primljenu izmjeničnu snagu gotovo bez pojačanja. *Treći i četvrti stupanj* rade kao *visokofrekventna pojačala* s anodnom neutralizacijom i pojačavaju izmjeničnu snagu na približno 400 W. U oba ova stupnja upotrijebljena je direktno žarena trioda RS 214 ($N_{vmax}=250$ W, $\mathfrak{N}_{amax}=440$ W, $U_a = 2\,000$ V). Kao osobitost treba istaknuti da anodni krugovi nisu ugođeni s promjenljivim kondenzatorom, nego s promjenljivim zavojnicama (variometrima) L_a, dok su kondenzatori nepromjenljivi. Time je postignuta veća pogonska sigurnost.

424. — *Peti stupanj* je *modulacioni stupanj.* On ima dvije direktno žarene triode RS 253 u paralelnom spoju ($N_{vmax}=800$ W, $\mathfrak{N}_{amax}=2\,500$ W, $U_a = 12\,000$ V), kojima se izmjenična snaga povisuje na 1 200 W. U moduliranom stupnju primijenjena je rešetkina neutralizacija (vidi sl. 266). Moduliranje se vrši *naponskom modulacijom na rešetki* (vidi sl. 281). Niskofrekventni titraji, koji iz studija preko mikrofonskog pojačala i kabela dolaze do odašiljača, pojačavaju se u *modulacionom pojačalu*[90]), a zatim se preko niskofrekventnog transformatora *NÜ* dodaju negativnom prednaponu rešetke modulatorke tako, da se prednapon mijenja u taktu modulacione frekvencije (vidi sl. 399). *Šesti stupanj* je spojen kao *visokofrekventno pojačalo* s rešetkinom neutralizacijom. Ovdje su upotrebljene ukupno četiri direktno žarene triode RS 254, koje su radi velike snage gubitka na anodi hlađene vodom $N_{vmax} = 12$ kW, $\mathfrak{N}_{amax} = 10$ kW, $U_a = 11$ kV). U šestom stupnju pojačava se izmjenična snaga odašiljača na 10 kW. Protufazni spoj odašiljačkih elektronki ima prema paralelnom spoju tu prednost da su unutarnji kapaciteti elektronki vezani s titrajnim krugom u s e r i j u, i da se svi parni harmonici poništavaju (vidi odsjek 148). U paralelnom spoju elektronki zbrajaju se kapaciteti elektronki s kapacitetima rešetkinog i anodnog kruga, tako da ukupni kapacitet elektronki predstavlja znatan dio kapaciteta potrebnog za ugađanje. Loša strana toga je ta, što je ugađanje ovisno o kapacitetu elektronke, koji se za vrijeme pogona mijenja. Neutralizacija protufaznog spoja odgovara neutralizaciji jednostavnog stupnja (vidi odsjek 380). C_N predstavlja kondenzator za neutralizaciju, a C_a odgovarajuću polovicu kapaciteta za ugađanje.

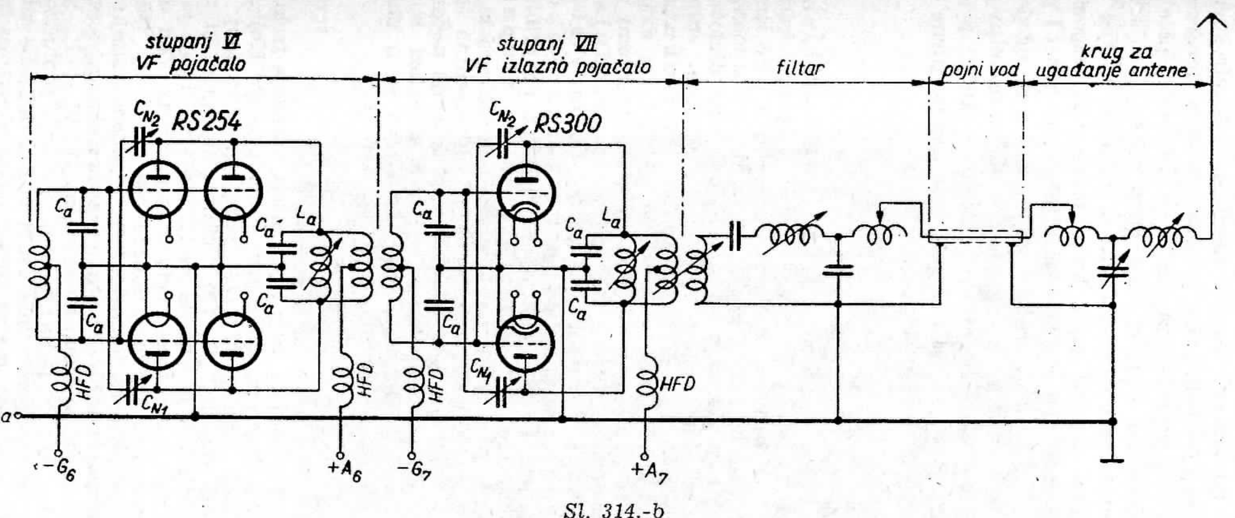
425. — U *izlaznom stupnju (sedmom stupnju)* pojačava se snaga prijenosne frekvencije na 100 kW. Ovaj stupanj ima dvije goleme indirektno žarene i vodom hlađene triode RS 300 u *protufaznom spoju* i s rešetkinom neutralizacijom ($N_{vmax} = 160$ kW, $\mathfrak{N}_{amax} = 300$ kW, $U_a = 10$ kW, usporedi odsjek 406). Tonski modulirani visokofrekventni titraji dolaze u *zaporni* krug, koji sve neparne harmonike u prijenosnoj frekvenciji

90) Modulacijsko pojačalo obično je niskofrekventno pojačalo. Na berlinskog odašiljaču ovo pojačalo ima dva stupnja u protuspoju.

Principijelna, pojednostavnjena shema velikog odašiljača (sedam stupnjeva, oscilator s kvarcom, modulacija napona rešetke)



Sl. 314.-a



Sl. 314.-b

HFD = visokofrekventne prigušnice, L_a = variometar za ugađanje, C_a = nepromjenljivi kondenzatori u titrajnim krugovima, *C* = prijenosni kondenzatori za visokofrekventne struje, C_N = kondenzatori za neutralizaciju, *NÜ* = niskofrekventni transformator

izluči, s izuzetkom prvog harmonika. Parni harmonici poništavaju se već u protufaznom spoju izlaznog stupnja. Visokofrekventna energija odvodi se *antenskim kabelom* do antene. To je oklopljeni visokofrekventni kabel, koji je kao i običan poštanski kabel položen u zemlju. Jezgru kabela čini šuplje bakreno uže promjera 24 mm, koje je u svom položaju uzduž osovine kabela učvršćeno osobitim izolacionim materijalom s vrlo malo gubitaka (na primjer frekventit). Vanjski promjer antenskog kabela je oko 100 mm, težine oko 300 kg/m. Kabel je završen *krugom za ugađanje antene,* koji se sastoji od zavojnice priključene na kabel i promjenljivog kondenzatora za vezu (u sredini), te zavojnice za ugađanje (desno). Dijelovi za ugađanje antenskog kruga, i sklopka za uzemljivanje antene s daljinskim pogonom, smješteni su u antenskoj kućici pokraj antenskog tornja (vidi dio I, odsjek 144 i sl. 110). Uzemljenje antene čini bakrena mreža koja je ispod antene ukopana u zemlju.

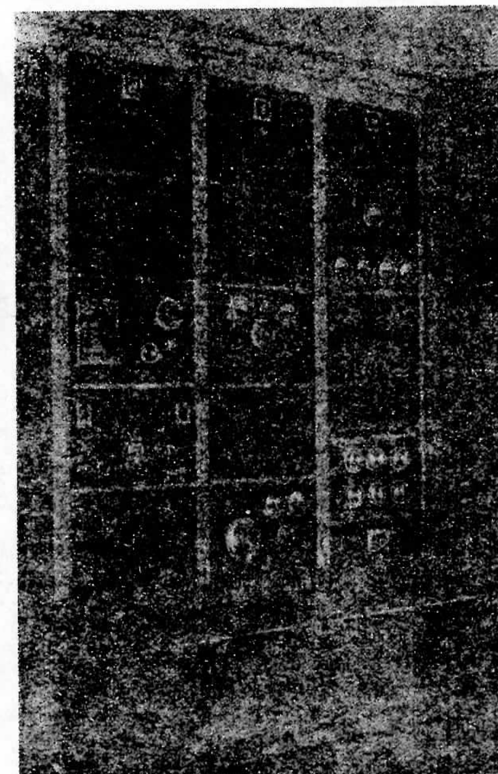
Ponavljanje

Upoznali smo spoj s t r a n o u z b u d n o g v e l i k o g r a z g l a s n o g o d a š i l j a č a s a s e d a m s t u p n j e v a. P r v i s t u p a n j radi u Huth-Kühnovom spoju kao o s c i l a t o r s k v a r c o m i daje izmjeničnu snagu od 0,5 W na slijedeći stupanj. Taj slijedeći stupanj je o d j e l n i s t u p a n j, čiji je zadatak da spriječi povratno djelovanje procesa moduliranja na oscilator. U t r e ć e m i č e t v r t o m stupnju pojačava se izmjenična snaga na približno 400 W (v i s o k o f r e k v e n t n a p o j a č a l a s anodnom neutralizacijom). U p e t o m s t u p n j u (m o d u l a c i j s k i s t u p a n j s rešetkinom neutralizacijom) moduliraju se pojačani prijenosni titraji n a p o n s k o m m o d u l a c i j o m n a r e š e t k i. Š e s t i s t u p a n j je daljnji stupanj v i s o k o f r e k v e n t n o g p o j a č a l a, koji radi u p r o t u f a z n o m s p o j u s rešetkinom neutralizacijom i pojačava izmjeničnu snagu na približno 10 kW. Konačno se u s e d m o m s t u p n j u (i z l a z n i s t u p a n j), koji radi također u protufaznom spoju s rešetkinom neutralizacijom, izmjenična snaga povisuje na 100 kW. Modulirana visokofrekventna energija dovodi se preko z a p o r n o g k r u g a (radi potiskivanja neparnih harmonika) i k a b e l a do antenske kućice, u kojoj se nalazi k r u g z a u g a đ a n j e a n t e n e. Uzemljenje antene izvedeno je u obliku velike mreže od bakrenih žica, koje su ukopane u zemlju.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji stupanj odašiljača, koji smo opisali, određuje frekvenciju? *Odgovor:* Oscilator s kvarcom, dakle prvi stupanj. — *P.:* Koji stupanj odašiljača radi kao generator? *O.:* Samo prvi stupanj. — *P.:* Koju svrhu ima drugi stupanj? *O.:* On djeluje kao odjelni stupanj da bi spriječio povratno djelovanje procesa moduliranja na titraje prvog stupnja. — *P.:* Koji zadatak imaju treći i četvrti stupanj? *O.:* Ovi stupnjevi pojačavaju izmjeničnu snagu na približno 400 W. — *P.:* Gdje i kako se izvodi moduliranje prijenosnih titraja? *O.:* U petom stupnju i to naponskom modulacijom na rešetki. — *P.:* Što se događa u šestom stupnju? *O.:* Ovdje se izmjenična snaga pojačava na približno 10 kW. — *P.:* Koju osobitost ima šesti stupanj? *O.:* On je kao pojačalo spojen u protufaznom spoju sa rešetkinom neutralizacijom i ima četiri vodom hlađene odašiljačke triode. — *P.:* Koju prednost ima protufazni spoj? *O.:* U njemu se poništavaju parni harmonički titraji, a osim toga su unutarnji kapaciteti elektronki spojeni u seriju s titrajnim krugom. — *P.:* Kako je građen

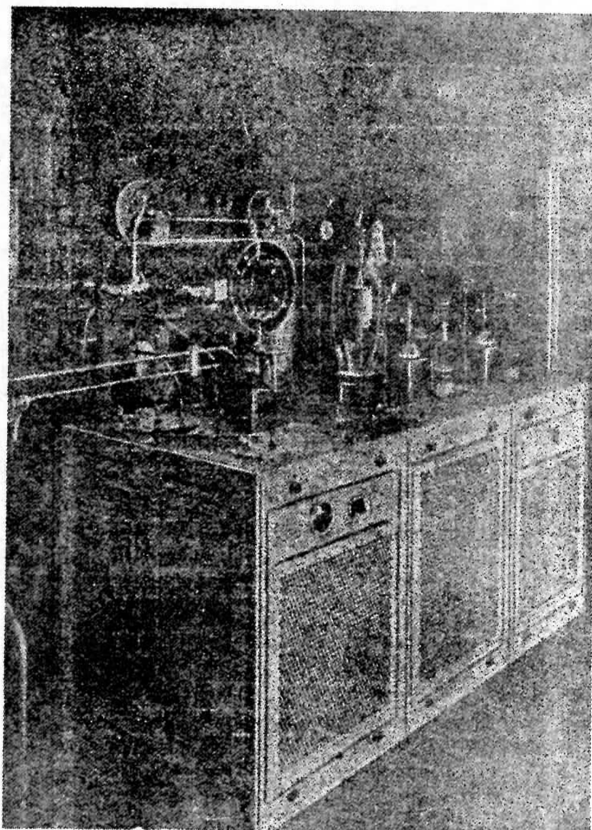
sedmi stupanj? *O.:* Kao pojačalo u protufaznom spoju s rešetkinom neutralizacijom, a ima dvije vrlo velike vodom hlađene odašiljačke triode. — *P.:* Koju izmjeničnu snagu mogu dati elektronke izlaznog stupnja? *O.:* 2×300 kW = 600 kW. — *P.:* Kako dolazi tonski modulirana visokofrekventna energija od izlaznog stupnja do antene? *O.:* Preko zapornog kruga, kabela i kruga za ugađanje antene. — *P.:* Kako se može izvesti dobro uzemljenje odašiljačke antene? *O.:* Oko antene treba ukopati široku mrežu od bakrene žice.



Sl. 315. — *Ugrađeni I stupanj (oscilator s kvarcom), II stupanj (odjelni stupanj), modulaciono pojačalo i uređaj za kontrolu frekvencije.*

426. — Sada znamo kako radi moderni veliki razglasni odašiljač. Da bismo dobili predodžbu o *praktičkoj izgradnji* i prostornim dimenzijama takvog odašiljača, prikazani su na sl. 315. do 318. pojedini stupnjevi. Na sl. 315. desno vidimo vanjski izgled *prvog stupnja* (oscilator s kvarcom) i *drugog,* takozvanog odjelnog stupnja. U sredini vidimo *modulacijsko pojačalo,* a lijevo *uređaj za kontrolu frekvencije.* Izabran je način gradnje

na stalcima. Vidimo mnogo raznih voltmetara i ampermetara, te raznih dugmeta za ugađanje. U tačnije opisivanje ovih pojedinosti nažalost ne možemo se ovdje upuštati. Sl. 316. prikazuje otvorenu gradnju *trećeg, četvrtog i petog stupnja,* dakle prvih stupnjeva visokofrekventnog pojačala i modulacionog stupnja. Straga se vide dvije elektronke RS 214 trećeg i četvrtog stupnja, a sprijeda dvije elektronke

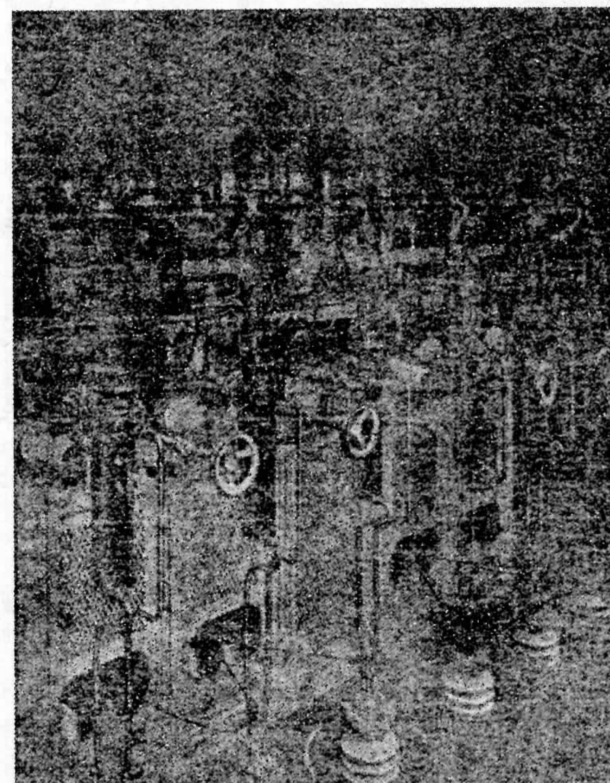


Sl. 316. — *Vanjski izgled III, IV i V stupnja (visokofrekventna pojačala) s elektronkama RS 214 i RS 253.*

RS 253 petog stupnja sa zavojnicama za ugađanje. Ostali dijelovi ovih stupnjeva smješteni su u donje ormariće. Na sl. 317. vidimo *šesti stupanj* (visokofrekventno pojačalo) s velikim triodama RS 254 koje se hlade vodom. Konačno je na sl. 318. prikazan *sedmi, izlazni stupanj* visokofrekventnog pojačala. Upadaju u oči goleme dimenzije četiriju velikih vodom hlađenih trioda RS 300, od kojih su dvije predviđene kao rezerva, pa

se u slučaju defekta mogu u najkraćem vremenu uključiti u pogon. Čitav uređaj odašiljača može se ukopčati i iskopčati s jednog mjesta u sredini dvorane odašiljača, gdje je smješten takozvani uklopni stol. Ispravan rad odašiljača može se kontrolirati pomoću raznih instrumenata, regulatora i signalnih žaruljica.

427. — Vrijedno je pobliže upoznati vodom hlađene elektronke RS 300, odnosno RS 254, koje se po načinu gradnje znatno razlikuju od uobičajenih oblika (usporedi sl. 317 i 318). Stakleni balon ovih odašiljačica



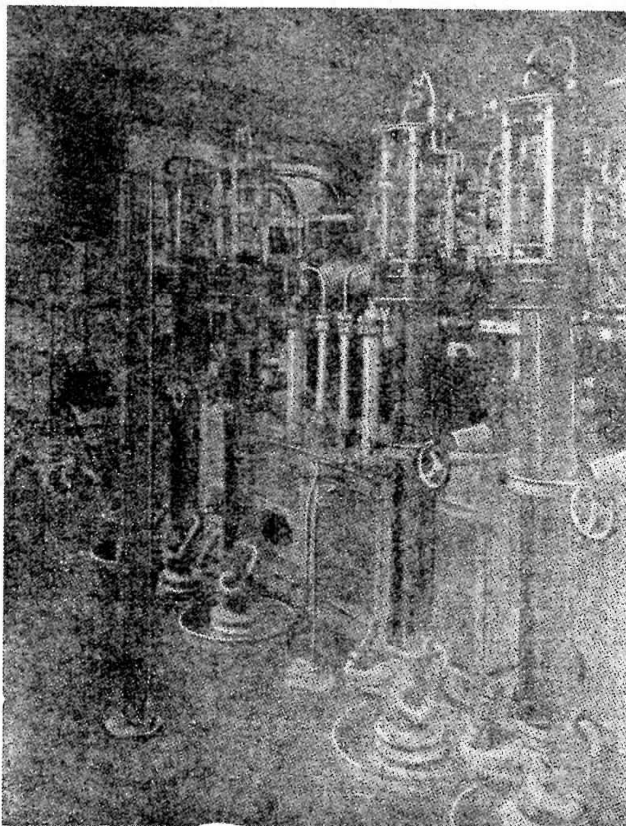
Sl. 317. — *Vanjski izgled VI stupnja s vodom hlađenim elektronkama RS 254 (4 u pogonu i 2 kao rezerva).*

ne obuhvaća više sve tri elektrode kao kod elektronki RS 214 i RS 253 (usporedi sl. 316), nego se anoda nalazi u donjem metalnom cilindru, koji služi za hlađenje. Anoda ima oblik bakrenog cilindra, koji je s jedne strane zatvoren i na koji je utaljen stakleni balon[91]). Unutar cilindra

---

[91]) Staljivanje stakla i metala predstavlja kod velikih zahtjeva (stalnost vakuuma i sigurnost izolacije), koji se postavljaju na velike odašiljačke elektronke, osobito majstorsko djelo.

anode smještena je uzbudna rešetka i katoda. Stakleni balon služi kao nosač elektroda i kao izolator za provode priključaka na katodu i uzbudnu rešetku. U elektronkama RS 300 predviđeni su čak posebni potporni izolatori na rashladnom cilindru, koji rasterećuje stakleni balon. Na podnožju elektronki RS 300 i RS 254 vidimo cijevi za dovod i odvod



Sl. 318. — *Vanjski izgled VII (izlaznog) stupnja odašiljača sa sl. 314. s vodom hlađenim elektronkama RS 300 (2 pogon, 2 rezerva).*

rashladne vode i velika izolaciona tijela za rashladni cilindar. Ona su neophodno potrebna, jer rashladna je voda unutar rashladnog cilindra u direktnom dodiru s cilindrom anode, koji prema zemlji ima napon od 10 kV. Zbog velike snage žarenja (oko 35 kW) elektronki RS 300 moraju biti vodom hlađeni i dovodi za žarenje katode i katodni priključak (vidi

vodoravne vodovodne cijevi u gornjem dijelu staklenog balona na potpornim izolatorima na sl. 318). Odašiljačka elektronka RS 300 visoka je 1 900 mm, a teška 90 kg, dok je elektronka RS 254 visoka 660 mm, a teška 4 kg.

428. — Ukupni *utrošak energije* velikog razglasnog odašiljača, koji ima antenski učin 100 kW, iznosi oko 500 kW, od čega se najveći dio gubi u izlaznim elektronkama kao snaga gubitka na anodi. Dok se elektronke od prvog do šestog stupnja žare istosmjernom strujom, izlazne elektronke žare se izmjeničnom strujom. Svaka od elektronki RS 300 ima vlastiti transformator za žarenje, koji se s izlazne strane hladi vodom, zatim posebne naprave (relej s vremenskim usporenjem, prigušnica za napuštanje itd.), koje sprečavaju prebrzo ukapčanje žarenja, da se skupocjene izlazne elektronke ne bi oštetile. Anodni istosmjerni napon od 12 kV za posljednja tri stupnja odašiljača proizvodi se visokonaponskim ispravljačem (u željeznoj posudi) koji se uzbuđuje rešetkom, dok se ostali pogonski istosmjerni naponi proizvode u raznim pretvaračima. Svi se ti istosmjerni naponi proizvedeni u ispravljačima i pretvaračima filtriraju pomoću uobičajenih filtara (prigušnice i kondenzatori). Budući da svaka od izlaznih elektronki treba za svoje hlađenje 125 litara rashladne vode na minutu, montiran je rashladni uređaj s dva vodotoka, s cirkulacijom od 25 m^3 rashladne vode na sat. Temperatura vode na izlazu elektronke ne smije prijeći 60^{0}C. U prvom krugu centrifugalna sisaljka tjera običnu vodu, koja služi za hlađenje destilirane vode u drugom krugu rashladnog uređaja. Drugi krug ima protustrujni hladionik, rezervoar s destiliranom vodom i centrifugalnu sisaljku. Konačno svaki veliki odašiljač ima i *»umjetnu antenu«*, koja ima ista električka svojstva kao prava antena, te može izdržati cijelu snagu odašiljača. Umjetna antena služi za ugađanje i ispitivanje odašiljača, a sagrađena je od velikog otpora koji se hladi vodom.

Ponavljanje

Upoznali smo praktičku gradnju pojedinih stupnjeva velikog razglasnog odašiljača antenskog učina od 100 kW. Oba prva stupnja građena su na stalcima, a preostali stupnjevi na način otvorene gradnje. U odašiljačkim elektronkama RS 300 i RS 254 ne nalaze se sve tri elektrode kao obično u zajedničkom staklenom balonu, nego unutar anodnog cilindra, koji je obuhvaćen rashladnim cilindrom. Stakleni balon služi samo kao nosač za elektrode i istodobno kao izolator za provode priključaka katode i uzbudne rešetke. Odašiljačka elektronka velike snage RS 300 zahtijeva osim hlađenja anode i hlađenje vodova za žarenje i katodnog priključka. Prvih šest stupnjeva žare se istosmjernom strujom, dok se sedmi stupanj žari izmjeničnom strujom. Za pogon potrebni istosmjerni naponi proizvode se pretvaračima i pomoću visokonaponskih ispravljača s uzbudnom rešetkom, te se filtriraju odgovarajućim filtrima. Rashladna voda dovodi se pomoću centrifugalnih sisaljki preko rashladnog uređaja s dva vodotoka. Veliki odašiljač ima osim toga i umjetnu antenu, koja električki potpuno odgovara pravoj anteni, a služi za ugađanje i ispitivanje odašiljača.

Pitanja i odgovori

Pitnje: U čemu se razlikuju pojedini stupnjevi opisanog velikog razglasnog odašiljača s obzirom na vanjski način gradnje? *Odgovor:* Prvi i drugi stupanj građen je na stalcima, a treći i četvrti na otvoren način gradnje. — *P.:* Koja je razlika u konstrukciji između obične manje elektronke i vodom hlađene odašiljačke elektronke? *O.:* U elektronki hlađenoj vodom ne nalaze se sve tri elektrode unutar staklenog balona, nego u metalnom rashladnom cilindru. — *P.:* Koja je svrha staklenog balona koji se nalazi u gornjem dijelu vodom hlađene elektronke? *O.:* On služi kao nosač elektroda i kao izolator za provode vodova do uzbudne rešetke i katode. — *P.:* Kako se dobiva nepropusni spoj između cilindra i staklenog balona? *O.:* Utaljivanjem. — *P.:* Zašto rashladni cilindri moraju da budu brižno izolirani prema zemlji? *O.:* Zato što je rashladna voda u direktnom dodiru s visokim naponom anode. — *P.:* Kako se dobivaju istosmjerni naponi potrebni za pogon velikog razglasnog odašiljača? *O.:* Anodni napon za posljednja tri stupnja dobiva se od visokonaponskog ispravljača s uzbudnom rešetkom, a istosmjerni naponi za ostale stupnjeve pomoću pretvarača. — *P.:* Mogu li ovi istosmjerni naponi biti upotrijebljeni direktno? *O.:* Ne, njih treba prije filtrirati. — *P.:* Kako radi rashladni uređaj sa dva toka vode u opisanom velikom odašiljaču? *O.:* Destilirana voda, koja teče kroz drugi krug rashladnog uređaja, hladi se sirovom vodom, koja teče kroz prvi krug. Oba kruga rade s centrifugalnim sisaljkama. — *P.:* Čemu služi umjetna antena? *O.:* Za ugađanje i ispitivanje odašiljača. — *P.:* Od čega se sastoji umjetna antena? *O.:* Od velikog vodom hlađenog otpora, koji može podnijeti puno opterećenje odašiljača.

Pitanja

200. Kako se u opisanom velikom razglasnom odašiljaču sprečava nepoželjno samouzbuđenje pojedinih stupnjeva?

201. Kako se potiskuju parni, a kako neparni harmonici?

202. Koja električka svojstva mora imati antena odašiljača?

Zadaci

137. Nacrtaj nadomjesnu shemu izlaznog stupnja velikog razglasnog odašiljača prikazanog na sl. 314, u kojem je primijenjena neutralizacija na rešetki!

138. Vodom hlađena velika trioda RS 300 ima najveću snagu gubitka na anodi 160 kW, anodni napon 10 kV, prohvat 0,9% i potrošnju rashladne vode od 125 litara u minuti. Kako je velika: a) ukupna istosmjerna snaga, b) anodna istosmjerna struja u pogonskom stanju, c) faktor pojačanja i d) potrošak rashladne vode na sat u m^3?

429. — Gotovo sav bežični telegrafsko-telefonski promet odvija se danas na kratkim valovima. I *pokusne stanice kratkovalnih amatera* rade na području kratkih valova. Kratkovalni amateri su pioniri današnjeg razvoja bežične kratkovalne dojavne tehnike. Oni su svojim pokusima prvi dokazali da se pomoću kratkih valova ispod 200 m mogu premostiti najveće udaljenosti, i to s vrlo slabim odašiljačima.

430. — 27. studenoga 1923. uspostavljena je prva bežična veza između Starog i Novog svijeta. Toga dana je naime uspostavljena višesatna veza između USA i Francuske na valnoj dužini od 100 m. Vezu su uspostavile kratkovalna stanica Amerikanca *Schnella* i *Reinartza* i Francuza *Deloya*. Od toga vremena ređali su se uspjesi u daljini dometa pomoću kratkovalne veze jedan za drugim. Prva unutarnja veza između kratkovalnih amatera u Njemačkoj uspostavljena je 20. studenoga 1925. i to između Stuttgarta i Königsberga. Kako je velika bila inicijativa kratkovalnih amatera vidi se po tome što su se oni često sa svojim pokusnim stanicama stavili u službu naroda, kad bi uslijed prirodnih katastrofa javna služba veze zatajila. Time su spasili mnoge živote i neprocjenjive vrednote.

Glavna područja upotrebe kratkih, srednjih i dugih valova

431. — Kao glavno područje upotrebe elektromagnetskih valova upoznali smo dosada *radio-difuziju* (razglas) i *amatersku kratkovalnu službu*. Sada ćemo ukratko nešto reći i o ostalim važnijim područjima primjene radio-veze (usporedi dio I, odsjek 142). To je u prvom redu *komercijalni promet* za prijenos telegrama i razgovora između Evrope i prekomorskih zemalja. Ovaj se promet odvija uglavnom na kratkim valovima. Od osobite je važnosti nadalje *pomorski* radio-promet, koji povećava sigurnost plovidbe. Obalne pomorske stanice u stalnoj su vezi s brodovima na moru i brodskim radio-stanicama i dostavljaju podatke o navigaciji, meteorološke izvještaje, cijene na tržištu itd. Nadalje valja spomenuti *avionski* radio-promet, bez kojeg se pravilna i sigurna služba letenja danas ne može ni zamisliti. Stanice s aerodroma saopćuju avionima za vrijeme leta važne meteorološke podatke za orijentaciju, davanje smjera itd., (vidi dio I, odsjek 181). Ova veza stoji čak i avionskim putnicima na raspolaganju. *Redarstvena* radio-služba ima opsežnu mrežu svojih stanica, koje mogu poslužiti i za prijenos slika, fotografija, otisaka prstiju itd., kako bi se zločince moglo brzo pronaći. Nadalje ima odašiljača koji služe u *vojničke* svrhe, te takvih koji se mogu upotrijebiti za *meteorološke* svrhe. Za istraživanje atmosfere i stratosfere puštaju se baloni (bez posade) koji nose malene odašiljače, te se pomoću njih dobivaju podaci o temperaturi, pritisku zraka itd. Za *željeznički* radio-promet potrebno je prenositi samo malu udaljenost između antene na krovu vagona i telegrafsko-telefonskog voda pokraj pruge pomoću malog odašiljača na dugim valovima. Nadalje se elektromagnetski valovi vode po telefonskim žicama do odredišnog mjesta (visokofrekventna telefonija po žicama). Budući da se ovdje radi o visokofrekventnim moduliranim titrajima, ne čine se nikakve smetnje niskofrekventnim titrajima običnog telefonskog razgovora. Konačno treba spomenuti *prijenosne* kratkovalne stanice korisne snage od jedva 1 W, koje zajedno s prijemnikom i baterijama može lako nositi jedan čovjek. Takve malene odašiljače upotrebljava i razglasna služba za veće reportaže u slučaju da s udaljenog mjesta prijenosa ne stoje na raspolaganju telefonski vodovi ili pak da se reportaža mora izvršiti iz

motornog čamca, automobila i sl. S ovo nekoliko podataka o posebnoj radio-službi morat ćemo se zadovoljiti, jer bi nas potanje obrazlaganje odvelo suviše daleko.

Ponavljanje

Kratkovalni amateri pioniri su bežične dojavne tehnike na kratkim valovima. Oni su prvi dokazali da se i s valnim dužinama ispod 200 m mogu premostiti vrlo velike udaljenosti s najslabijim odašiljačima. Najvažnija primjena kratkih, srednjih i dugih valova je u razglasnoj službi, u amaterskom prometu, u komercijalnom, redarstvenom i željezničkom radio-prometu, u vojničkim i meteorološkim radio-stanicama i prenosivim kratkovalnim stanicama.

Pitanja i odgovori

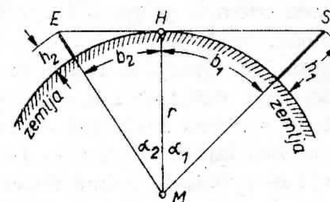
Pitanje: Zašto su pokusi kratkovalnih amatera postali za radiotehniku od osobitog značenja? *Odgovor:* Kratkovalni amateri su sa svojim pokusnim odašiljačima prvi dokazali upotrebljivost kratkih valova za premoštavanje velikih udaljenosti pomoću slabih odašiljača. — *P.*: Kada i gdje je uspostavljena prva prekomorska bežična veza? *O.*: 27. XI 1923. između USA i Francuske. — *P.*: Kojoj svrsi služi komercijalni radio-promet? *O.*: Za bežični prijenos telegrama i razgovora između Evrope i prekomorskih zemalja. — *P.*: Koja vrsta radio-veze služi za osiguranje prometa? *O.*: Pomorska i avionska radio-služba. — *P.*: O kojoj smo još primjeni odašiljača govorili? *O.*: O redarstvenim odašiljačima, o odašiljačima za vojničke i meteorološke potrebe, o željezničkim odašiljačima, te o prijenosnim kratkovalnim odašiljačima.

X. Odašiljači i prijemnici na ultrakratkim valovima

Bit ultrakratkih valova

432. — Na kraju naših razmatranja o tehnici odašiljača osvrnut ćemo se i na specijalno područje radio-tehnike, naime na proizvođenje i primanje *metarskih, decimetarskih* i *centimetarskih valova*. Na tom su području posljednjih godina učinjeni znatni pronalasci, iako istraživanja još ni izdaleka nisu završena. Pod *ultrakratkim valovima* razumijevamo općenito područje valova ispod 10 m, dakle iznad frekvencije 30 MHz. Ultrakritki valovi su danas u prvom redu zbog njihove upotrebe u televiziji od osobitog značenja. U televiziji se mora prenositi vanredno širok pojas frekvencija (4 do 5 MHz), tako da kratki, srednji i dugi val za ovu svrhu otpadaju. *Rasprostiranje* ultrakratkih valova neovisno je o vremenu (meteorološkim prilikama), pa se u prijemu ultrakratkih valova toliko ne primjećuju atmosferske smetnje. Na ultrakratkim valovima smetnje čini paljenje svjećica automobilskih motora i visokofrekventni medicinski aparati. Te smetnje mogu se znatno ublažiti oklapanjem prijemnika. Daljnja prednost ultrakratkih valova je, što se lako mogu usmjerivati (usmjerna antena).

Sl. 319.



433. — Ultrakratki valovi nazivaju se još i *kvažioptičkim valovima*[92]), jer se siguran domet pomoću njih ne proteže mnogo dalje od horizonta, kao i kod valova svjetla. Zbog toga je potrebna između odašiljača i prijemnika, koji rade na ultrakratkim valovima, optička veza. To znači da se odašiljačka antena mora postaviti po mogućnosti što više. Pretpostavimo li da se ultrakratki valovi šire isto tako u pravcu kao i svjetlo, dobivamo odnose prikazane na sl. 319.: h_1 označuje visinu antene odašiljača, h_2 visinu antene prijemnika nad površinom zemlje (razina mora). *Teoretski doseg* odgovara tada dužini luka $b = b_1 + b_2$ na površini zemlje i optičkoj udaljenosti između vrhova antena na udaljenosti *S—E*. Budući da su kutovi α_1 i α_2 u stvari vrlo maleni, može se postaviti[93]):

---

[92]) Quasi (latinski) = kao, poput.
[93]) Ovo slijedi iz poznatog razvoja reda: $\cos \alpha = 1 - \alpha^2/2 + \alpha^4/24 - \alpha^6/720 + - \ldots$

$\cos \alpha_1 = r/(r + h_1) \approx 1 - \alpha_1^2/2$, odnosno $\cos \alpha_2 = r/(r + h_2) \approx 1 - \alpha_2^2/2$. Kutovi α_1 i α_2 mjere se ovdje u lučnoj mjeri. Odavle slijed: $\alpha_1^2 \approx 2[1 - r/(r + h_1)] \approx 2h_1/(r + h_1)$, odnosno $\alpha_2^2 \approx 2h_2/(r + h_2)$. Nadalje je h_1 i h_2 mnogo manje od radijusa Zemlje ($r \approx 6\,370$ km), pa je prema tome $(r + h_1)$ približno jednako r, odnosno $(r + h_2)$ također je približno jednako r. Time se dobiva: $\alpha_1 \approx \sqrt{2h_1/r}$, odnosno $\alpha_2 \approx \sqrt{2h_2/r}$. Odatle slijedi: $b = b_1 + b_2 = \alpha_1 \cdot r + \alpha_2 \cdot r \approx \sqrt{2h_1 r} + \sqrt{2h_2 r} = \sqrt{2r}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx \sqrt{12\,740\,000}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, to jest:

$$\boxed{b = 3{,}57\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})\ [\mathrm{km}]} \quad \ldots\ldots \quad (80)$$

Uvrste li se h_1 i h_2 u metrima, dobiva se po ovoj formuli teoretski doseg b za ultrakratke valove u kilometrima.

434. — Stvarno postignute udaljenosti su veće nego što slijedi iz jedn. (80), uz pretpostavku da između odašiljača i prijemnika nema brda koja priječe širenje valova. Ova se činjenica tumači time da se ultrakratki valovi, slično kao i valovi svjetla, lome i savijaju prolazeći kroz slojeve zraka, koji imaju razne temperature, različit pritsak i vlažnost[94]). To dokazuje da je teorija o pravocrtnom širenju ultrakratkih valova samo uvjetno ispravna. S ultrakratkim valovima su prigodice premoštene udaljenosti od više tisuća kilometara u području valova između 5 do 9 m. Iz toga možemo zaključiti da se prostorni ultrakratki valovi drugačije ponašaju nego što smo dosada pretpostavljali. Prostorni ultrakratki valovi ne probijaju potpuno Heavisideov sloj, nego se djelomično na tom sloju reflektiraju prema zemlji (usporedi dio I, odsjek 159). Osim toga na rasprostiranje ultrakratkih valova utječe i geografski položaj stanica. Preko mora postizavaju se veće udaljenosti nego preko kopna. Svi ovi utjecaji, kao i utjecaj sunčanih pjega, nisu još potpuno razjašnjeni. I ovdje će kratkovalni amateri, koji svojom neumornom djelatnošću skupljaju dragocjena zapažanja, pomoći da se dođe do konačnog razjašnjenja ovih problema.

Ponavljanje

Dužina ultrakratkih valova manja je od 10 m, i mogu se lako usmjerivati. U prijemu ultrakratkih valova nema atmosferskih smetnji, no znatne smetnje može proizvesti paljenje svjećica u motorima, i visokofrekventni medicinski aparati. Budući da siguran domet ultrakratkih valova, slično kao kod valova svjetla, ne siže dalje od horizonta, govorimo također o kvazioptičkim valovima. Pod pretpostavkom da je širenje ultrakratkih valova pravocrtno, iznosi teoretska udaljenost $b \approx 3{,}57\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$[km], ako su h_1 i h_2 visine odašiljačkih antena u metrima iznad površine zemlje. Faktični doseg često je mnogo veći, budući da se ultrakritki valovi uslijed raznolikosti slojeva zraka lome i savijaju preko horizonta. Ultrakratkim valovima premoštene su već i udaljenosti od

---

[94]) Tako se na primjer u osobito povoljnim uvjetima može s Montblanca vidjeti obala kod Calaisa, unatoč zakrivljenosti Zemlje.

više tisuća kilometara. Ova se činjenica može objasniti time, što se prostorni ultrakratki valovi djelomično odbijaju od Heavisideova sloja. Doseg ultrakratkih valova ovisi i o geografskom smještaju stanice, te o sunčanim pjegama. Zemljina uzvišenja (brda) djeluju zasjenjujuće. Ispitivanje rasprostiranja ultrakratkih valova bit će suradnjom kratkovalnih amatera znatno pospješeno.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što su ultrakratki valovi? *Odgovor:* Elektromagnetski valovi s valnom dužinom manjom od 10 m ili frekvencijom većom od 30 MHz. — *P.:* Koja je prednost ultrakratkih valova pred duljim valovima? *O.:* Oni se šire neovisno o vremenskim prilikama (u meteorološkom smislu), pa se mogu lako usmjerivati. Prijem na ultrakratkim valovima ne ometaju atmosferske smetnje. — *P.:* Koje smetnje mogu ipak nastupiti? *O.:* Smetnje od svjećica motora i visokofrekventnih medicinskih aparata. — *P.:* Kako je velik siguran doseg na ultrakratkim valovima? *O.:* Nije mnogo veći od udaljenosti horizonta. — *P.:* Koji se elektromagnetski valovi ponašaju slično? *O.:* Valovi svjetlosti. — *P.:* Kako se još nazivaju ultrakratki valovi? *O.:* Kvazioptički valovi. — *P.:* Kako se tumači činjenica da su se s ultrakratkim valovima premostile mnogo veće udaljenosti nego što to prijašnjim shvaćanjima odgovara? *O.:* Ultrakratki valovi se uslijed raznolikosti zračnih slojeva lome i savijaju preko horizonta. Osim toga moguća je i djelomična refleksija ultrakratkih valova od Heavisideova sloja. — *P.:* Što još utječe na širenje ultrakratkih valova? *O.:* Geografski položaj stanice i sunčane pjege. — *P.:* Kako sudjeluju kratkovalni amateri u ispitivanju ultrakratkih valova? *O.:* Oni svojim pokusnim odašiljanjima skupljaju vrijedne podatke o primanju ultrakratkih valova.

Zadaci

139. Televizijski odašiljač radi na ultrakratkom valu prijenosne frekvencije 47,8 MHz, sa širinom pojasa frekvencija za prijenos slika od 2 MHz: a) Kolika je dužina prijenosnog vala? b) Koje valno područje upotrebljava taj televizijski odašiljač? c) Koliko bi takvih televizijskih odašiljača moglo raditi na valnom području od 100 do 2 000 m?

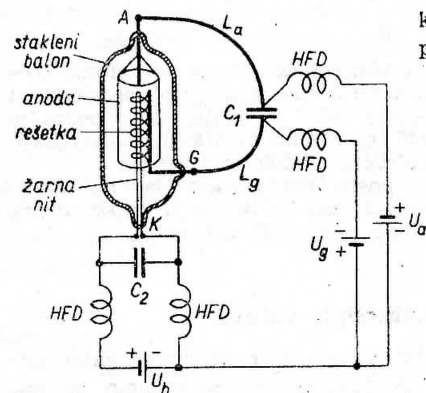
140. Na brdu visokom 1 000 m postavljen je odašiljač na ultrakratkim valovima s antenom visokom 24 m. Koliki je teoretski doseg odašiljača, ako je vrh prijemne antene visok 169 m?

Proizvođenje metarskih valova

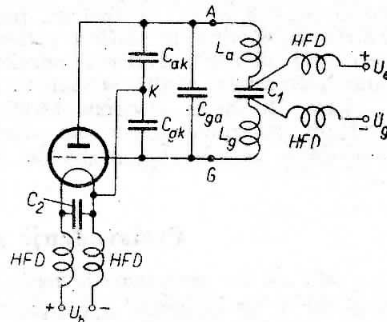
435. — Za *proizvođenje* metarskih valova do nešto kraće valne dužine od 1 m možemo upotrijebiti poznati *spoj s povratnom vezom.* S većim odašiljačkim elektronkama vrlo je teško postići tako kratke dužine vala, jer su vlastiti kapaciteti elektronki i vrijeme putovanja elektrona (vidi odsjek 348) tome zapreka. Proizvođenje kratkih valova do dužine od 30 cm uspijeva sa specijalnim malim, za tu svrhu građenim elektronkama. Proizvedena izmjenična snaga je pri tome dakako vrlo malena (vidi odsjek 459). *Frekvencija* proizvedenih ultrakratkih titraja ovisna je, kao i kod dužih valova, o veličini induktiviteta i kapaciteta. Odaberu li se ovi dovoljno maleni, mogu se frekvencije do 10 MHz (λ = 30 m) bez poteškoća proizvoditi pomoću samouzbuđenja. Na višim frekvencijama odlučujuću ulogu ima *vlastiti kapacitet elektronke i prirodni induktivitet dovoda,* koji se ne mogu po volji smanjiti. *Odaši-*

ljačke elektronke za ultrakratke valove imaju zbog toga, da bi se smanjili nepotrebni kapaciteti i električki gubici u staklu, najčešće prostorno daleko razmaknute izvode anode i rešetke (sl. 320).

436. — U proizvođenju metarskih valova upotrebljavaju se još samo vlastiti kapaciteti elektronke, to jest vanjski se kapaciteti za ugađanje uopće ne predviđaju. Za samoinduktivitet služi jedino što kraći komad žice, koji spaja anodu *A* s rešetkom *G* (sl. 320). Induktivitet L_a gornjeg dijela luka djeluje kao anodna zavojnica, a induktivitet L_g donjeg dijela luka kao rešetkina zavojnica. Kondenzator C_1, koji ne utječe na ugađanje, odjeljuje anodni istosmjerni napon U_a od rešetkinog istosmjernog napona U_g. Tako dobiven spoj odašiljača odgovara *spoju u tri tačke* (usporedi sl. 253). Njegovo djelovanje bit će jasnije ako razmotrimo spoj na sl. 321. Ovdje su prirodni kapaciteti elektronke C_{ak}, C_{gk}, C_{ga} i induktiviteti dijelova žica L_a i L_g ucrtani kao normalni kondenzatori i zavojnice. Titrajni krug koji određuje frekvenciju sastoji se od induktiviteta $L_a + L_g$ žičanog luka i kapaciteta rešetka-anoda C_{ga}. Napon povratne veze uzima se između priključka na katodu *K* i donjeg dijela zavojnice L_g, pri čemu serijski spoj prirodnih kapaciteta C_{ak} i C_{gk} djeluje kao kapacitivni djelitelj napona. *Visokofrekventne prigušnice HFD* u anodnom i rešetkinom krugu, te u krugu žarenja, sprečavaju prijelaz visokofrekventnih titraja u baterije, dok kondenzator C_2 za žarni krug predstavlja visokofrekventni kratki spoj. Na vrlo visokim frekvencijama nemaju visokofrekventne prigušnice toliko zaporno djelovanje



Sl. 320.

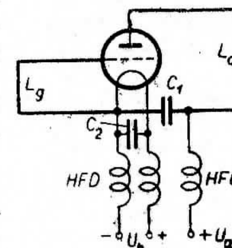


Sl. 321.

kao na nižim frekvencijama, jer visokofrekventni titraji ipak prolaze kroz prirodne vlastite kapacitete tih prigušnica. Zaporno djelovanje može se poboljšati tako da se vlastita frekvencija visokofrekventne prigušnice pomoću malih promjenljivih kondenzatora dovede u blizinu frekvencije odašiljača (paralelna rezonancija). U tom slučaju dobivamo takozvane *titrajne prigušnice,* koje imaju ϱ puta veći otpor za izmjeničnu struju nego neugođene visokofrekventne prigušnice (vidi dio I, odsjek 111). Osim toga valja napomenuti da se visokofrekventne prigušnice (zračne

zavojnice) ne smiju motati u više slojeva, jer i najmanji međusobni pomak zavoja može utjecati na djelovanje visokofrekventne prigušnice i time na jakost samouzbuđenja odašiljačke elektronke.

437. — U slučaju paralelne rezonancije jakost izmjenične struje $\mathfrak{J}_L$ u žičanom luku je ϱ puta tolika kao izmjenična struja $\mathfrak{J}_a$ odašiljačke elektronke. Za slučaj da je $\varrho = 100$, a $\mathfrak{J}_a = 100$ mA, dobiva se $\mathfrak{J}_L = 100 \cdot 100 =$ $= 10\,000$ mA $= 10$ A. Budući da kapacitet rešetka-anoda C_{ga} uglavnom leži unutar elektronke, teče izmjenična struja iste jakosti kao i kapacitivna struja kod *A* i *G* u odašiljačku elektronku. Zbog toga moraju dovodi struja unutar elektronke biti ne samo bez gubitaka, nego i dosta debeli, da se ne bi suviše ugrijali. Inače može doći do pucanja stakla oko uvoda!



Sl. 322.

438. — Na sl. 322 vidimo *Huth-Kühnov spoj* (usporedi sl. 254 i odsjek 369). Žični luk L_g čini rešetkin krug, a luk L_a anodni krug[95]. Povratna veza dobiva se preko kapiciteta rešetka-anoda C_{ga}. Kao kapaciteti za ugađanje služe unutrašnji kapaciteti C_{ak} paralelno sa L_a i C_{gk} paralelno sa L_g. Kondenzatori C_1 i C_2, koji ni ovdje nikako ne utječu na ugađanje, imaju kao i visokofrekventne prigušnice *HFD* istu svrhu koju imaju u spoju u tri tačke (vidi sl. 436).

Ponavljanje

Običan spoj s povratnom vezom, na primjer Huth-Kühnov spoj u tri tačke, može se upotrijebiti *za proizvođenje metarskih valova* do valne dužine nešto manje ispod 1 m. Upotrebom osobito malih odašiljačkih elektronki mogu se na ovaj način proizvoditi dužine vala od 30 cm. Kod metarskih valova se titrajni krug sastoji od prirodnih kapiciteta elektronki i žičanog luka umjesto zavojnice. Vanjski kapaciteti za ugađanje ne upotrebljavaju se. Prodiranje visokofrekventnih titraja u baterije za žarenje, rešetkin prednapon i anodni napon potrebno je spriječiti pomoću *visokofrekventnih prigušnica.* Zaporno djelovanje tih prigušnica znatno se poboljšava dodavanjem paralelnih kondenzatora za ugađanje, pomoću kojih se može postići da se vlastita frekvencija titrajnih prigušnica otprilike poklapa s pogonskom frekvencijom. Već male promjene na visokofrekventnim prigušnicama imaju velik utjecaj na zaporno djelovanje i na jakost samouzbuđenja odašiljača. Dovodi k elektrodama unutar elektronke moraju biti dovoljno debeli da se spriječi prejako ugrijavanje tih dovoda i pucanje stakla oko uvoda.

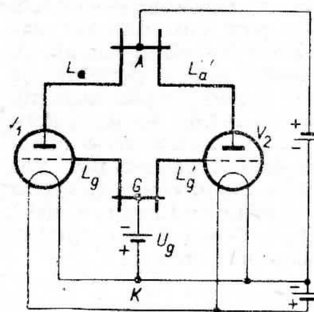
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koji se spoj može upotrijebiti za proizvođenje metarskih valova? *Odgovor:* Uobičajeni spoj s povratnom vezom. — *P.:* Koja se najmanja dužina vala može na taj način postići? *O.:* Dužina vala od nešto

95) Zbog lakšeg mijenjanja frekvencije mogu L_a i L_g biti izvedeni od cijevi u obliku pravokutnika, kojemu se duljina može mijenjati kao na pozauni.

manje ispod 1 m, a upotrebom osobito malenih elektronki i dužine vala do 30 cm. — *P.*: Čime je otežano proizvođenje još kraćih valnih dužina? *O.*: Prirodnim kapacitetima elektronke, induktivitetima dovoda i vremenom putovanja elektrona. — *P.*: Kako je građen titrajni krug odašiljača za metarske valove? *O.*: On se sastoji od paralelnog spoja prirodnog kapaciteta i induktiviteta žičanog luka. — *P.*: Koji prirodni kapacitet elektronke služi u spoju u tri tačke kao kapacitet titrajnog kruga? *O.*: Kapacitet između rešetke i anode. — *P.*: Koju svrhu imaju visokofrekventne prigušnice u odašiljačima za ultrakratke valove? *O.*: One sprečavaju prodiranje visokofrekventnih titraja u bateriju za žarenje, te anodnu i rešetkinu bateriju. — *P.*: Zašto visokofrekventne prigušnice ne pomažu na vrlo visokim frekvencijama? *O.*: Zato što se visokofrekventni titraji dijelom odvode preko prirodnog kapaciteta prigušnice. — *P.*: Kako se može postići bolje zaporno djelovanje? *O.*: Upotrebom titrajnih prigušnica. — *P.*: Što su titrajne prigušnice? *O.*: Visokofrekventne prigušnice koje su s malim paralelnim kapacitetima ugođene na frekvenciju koja je blizu pogonske frekvencije. — *P.*: Kako se tumači bolje zaporno djelovanje titrajne prigušnice? *O.*: Titrajna prigušnica ima ϱ puta veći otpor za izmjeničnu struju od obične visokofrekventne prigušnice? — *P.*: Na što treba paziti kod gradnje takvih visokofrekventnih prigušnica? *O.*: Zavoji moraju biti čvrsto građeni. — *P.*: Zašto je to neophodno potrebno? *O.*: Zato što i najmanji pomak zavoja utječe na zaporno djelovanje prigušnice i na jakost samouzbuđenja.

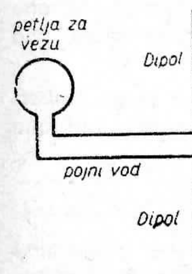
439. — U odsjeku 436. ukazali smo na značenje visokofrekventnih prigušnica u odašiljačima za metarske valove. Najpovoljnije je međutim ako možemo posve izbjeći upotrebu prigušnica, jer time otpadaju mnoge poteškoće. To se najjednostavnije postiže *protufaznim spojem* prema sl. 323. Obje odašiljačke elektronke V_1 i V_2 rade u protuspoju, što znači da u momentu kad je anodni napon elektronke V_1 najveći, anodni je napon elektronke V_2 najmanji. Isto vrijedi i za momentane vrijednosti rešetkinog napona. Anodni se krugovi sastoje od žičanih lukova L_a i L_g', a oba rešetkina kruga od žičanih lukova L_g i L_g'. Povratna veza izvodi se kao i u Huth-Kühnovu spoju preko kapaciteta rešetka-anoda C_{ga} i C_{ga}' i lukova L_a, L_a' i L_g, L_g'. Ako je spajanje izvedeno potpuno simetrično, onda će tačke *A*, *G* i *K* zbog protufaznog djelovanja elektronki biti bez izmjeničnog napona. Ove se tačke mogu dakle, a da se ne umeću visokofrekventne prigušnice, spojiti na izvore istosmjernog napona. Ako unutarnji kapaciteti elektronki nisu jednaki, mogu se te nejednakosti izravnati pomoću razlika u dužinama žičanih lukova. Protufazni spoj ima veći korisni stupanj djelovanja, i u mehanički sigurnijoj gradnji također veću postojanost frekvencije nego običan spoj. U odsjeku 442. vratit ćemo se još jedanputa na protufazni spoj.



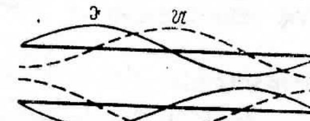
Sl. 323.

440. — Postojanost ferkvencije odašiljača na metarskim valovima može se znatno poboljšati upotrebom uzbudnog *kristala*. U području valova od 1 do 7 m upotrebljavaju se *turmalinovi kristali*, a za dužine preko 7 m *kvarcovi kristali* (vidi odsjek 373). Odaberemo li na primjer *Huth-Kühnov spoj s turmalinovim uzbuđenjem* (vidi sl. 262 i odsjek 376) za proizvođenje najkraćih valova, izvest ćemo anodni krug kao prsten od žice promjera 40 do 50 mm, dok je kondenzator za ugađanje C_1 = 20 do 30 pF, a rešetkin odvodni otpor R_g = 0,5 MΩ. Slijedeći postupak sastoji se u primjeni *umnažanja frekvencija* (vidi odsjek 381). Pri tome se na primjer visokofrekventno titranje valne dužine od 100 m proizvodi u stupnju s uzbudnim kvarcom i tada se pomoću višestrukog umnažanja frekvencije u različitim međustupnjevima dovodi na željeni ultrakratki val.

441. — *Antene za ultrakratke valove* u načelu su građene isto kao i nama već poznate antene kratkovalnih odašiljača (vidi odsjeke 409 do 415). U obzir dolaze uglavnom dipolne antene, kojima dimenzije odgovaraju ultrakratkim valovima. *Veza* antene s anodnim titrajnim krugom izvodi se najčešće induktivno pomoću petlje i *sistema paralelnih žica*, koje se po svom pronalazaču nazivaju *Lecherovim sistemom* (sl. 324). Sistem paralelnih žica predstavlja ugođeni pojni vod (usporedi odsjek 410). Ako je dužina sistema paralelnih žica jednaka polovini valne dužine ili cjelobrojnom višekratniku ove, nastat će zbog refleksije na krajevima žica *stojni valovi*. Između napona i struje na obje žice postojat će tada fazni pomak od 180° (sl. 325 usporedi i sl. 292-b), tako da sistem paralelnih žica u potpuno simetričnoj gradnji ništa ne isijava. U najjednostavnijem slučaju iznosi dužina sistema paralelnih žica $\lambda/2$, a ukupna dužina dipola = 0,46 λ. Na sličan način može se *Fuchsova antena* vezati na odašiljač ultrakratkih valova (usporedi odsjek 413 i sl. 302). Da bi se dobio što viši izmjenični napon, odabire se induktivitet L_a petlje što veći (na primjer dva zavoja), a kapacitet za ugađanje C_a što manji (promjenljivi kondenzator maksimalnog kapaciteta 20 do 25 pF). Dužina Fuchsove antene kod ultrakratkih valova iznosi 0,46 λ. Nadalje ćemo ovdje još jednom ukazati na osobitu prikladnost *Hertzova dipola s prilagođenim dvožičnim pojnim vodom* kao antene za ultrakratke valove (usporedi sl. 303, odsjek 415). Za ultrakratke valove odabire se a = = 0,115 λ i c = 0,46 λ, dok su vrijednosti b i e jednake onima otprije.



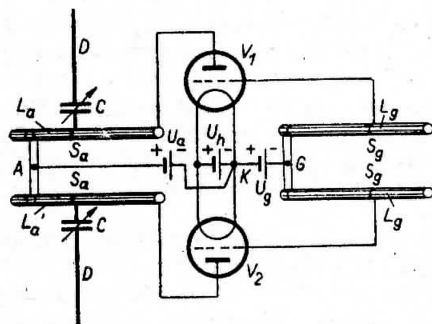
Sl. 324.



Sl. 325.

442. — I protufazni spoj opisan u odsjeku 439. može se priključiti na dvožični ili na koncentrični Lecherov sistem (sl. 326). Oznake se tačno podudaraju sa sl. 323. Anodni krug se sastoji od sistema paralelnih žica L_a—L_a', a rešetkin krug od sistema paralelnih žica L_g—L_g'. Za oba sistema paralelnih žica upotrebljavaju se bakrene cijevi promjera

15 do 20 mm. Označi li se razmak osi paralelnih bakrenih cijevi sa a, a promjer bakrenih cijevi sa d, treba da bude $a/d = 3$ do 4. Dužina bakrenih cijevi iznosi otprilike 1/4 dužine vala. Anodni krug se može na željeni ultrakratki val ugoditi pomoćnim bakrenim mostom A, a rešetkin krug pomicanjem obujmica S_g. Pomoću promjenljivih kondenzatora $C = 30$ do 50 pF može se na primjer po jedna dipol-antena D priključiti na obujmice anodnog kruga.



Sl. 326.

443. — Zbog male valne dužine imaju nadalje *usmjerne antene* u tehnici ultrakratkih valova još veće značenje nego u tehnici kratkih valova (vidi odsjeke 416 do 418). Usmjerivanje ultrakratkih valova pomoću r e f l e k t o r a omogućuje dobro iskorišćenje često i onako slabe energije odašiljača. Usmjerivanje se može postići pomoću usmjernih antena mnogo manjih dimenzija i s jednostavnijim sredstvima nego kod kratkih valova.

Konačno treba još napomenuti da se metarski valovi mogu *tipkati* i *modulirati*. Pri tome se primjenjuju uglavnom isti postupci koje smo već prije upoznali.

Ponavljanje

Za proizvođenje metarskih valova osobito je pogodan *protufazni spoj* dviju odašiljačkih elektronki, kako bi se izbjegla upotreba visokofrekventnih prigušnica. Osim toga protufazni spoj radi s boljim faktorom iskoristivosti i većom stalnošću frekvencije. S druge strane može se poboljšanje stalnosti frekvencije postići i upotrebom *uzbudnog kristala*. Za valne dužine od 1 do 7 m upotrebljavaju se t u r m a l i n s k i k r i s t a l i, a preko 7 m k v a r c n i k r i s t a l i (na primjer u Huth-Kühnovu spoju). Daljnji način proizvođenja metarskih valova stalnih u frekvenciji sastoji se *u višestrukom umnažanju frekvencija* proizvedenih oscilatorom s kvarcom. Za *antene za ultrakratke valove* dolaze u obzir uglavnom poznate antene za kratki val odgovarajućih manjih dimenzija, dakle H e r t z o v d i p o l s ugođenim ili s prilagođenim pojnim vodom, F u c h s o v a a n t e n a, u s m j e r n a a n t e n a s reflektorom ili bez njega. Metarski valovi mogu se t i p k a t i i m o d u l i r a t i na isti način kao i duži valovi.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje prednosti za metarske valove pruža protufazni spoj? *Odgovor:* Uslijed protufaznog djelovanja elektronki nisu potrebne visokofrekventne prigušnice. Osim toga postizava se dobar stupanj iskoristivosti i velika stalnost frekvencije. — *P.:* Koji spojevi odašiljača metarskih valova rade također s velikom stalnošću frekvencije? *O.:* Spojevi s uzbudnim kristalom. — *P.:* Koje se vrsti kristala upotrebljavaju? *O.:* Za valne dužine preko 7 m kvarcovi kristali, a za dužine vala između jedan do sedam metara turmalinovi kristali? — *P.:* Koje se vrsti antena mogu upotrijebiti za odašiljače na ultrakratkim valovima? *O.:* Poznate antene za kratki val, dakle u prvom redu dipol i usmjerne antene. — *P.:* Kako se najčešće veže antena za ultrakratki val na titrajni krug odašiljača? *O.:* Pomoću petlje i sistema paralelnih žica. — *P.:* Koje su osobite prednosti usmjernih antena? *O.:* One omogućuju oštro usmjerivanje ultrakratkih valova i dobro iskorišćivanje energije odašiljača.

Pitanja

206. Koje se poteškoće javljaju pri upotrebi visokofrekventnih prigušnica u odašiljačima ultrakratkih valova?

207. Kako djeluje sistem paralelnih žica i kako se on još naziva?

208. Po čemu se razlikuju antene odašiljača za ultrakratke valove od antena odašiljača za kratke valove?

Zadaci

141. Odašiljač metarskih valova u spoju u tri tačke radi na ultrakratkim valovima valne dužine 3 m; oštrina rezonancije titrajnog kruga iznosi 50, kapacitet između rešetke i anode odašiljačke elektronke je 10 pF. Koliki je: a) induktivitet, b) aktivni vanjski otpor?

142. Pomoću kvarca proizvodi se u nekom odašiljaču kratki val dužine 64 m. Nakon toga slijedi trostepeno udvostručavanje frekvencije. Koju valnu dužinu imaju tako dobiveni ultrakratkovalni titraji?

Primanje metarskih valova

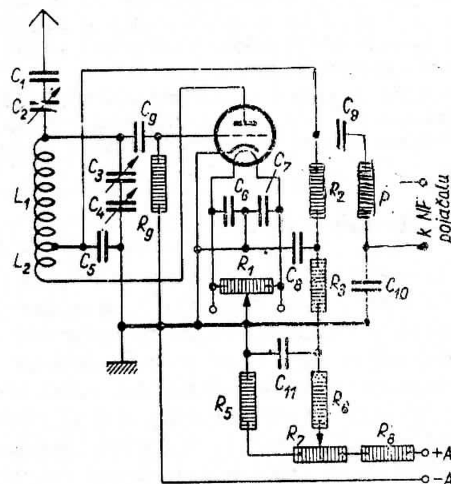
444. — Gradnja *prijemnika za metarske valove* isplati se ne samo radi primanja televizijskih emisija, nego i zbog primanja r a d i o f o n s k i h emisija koje se odašilju preko televizijskih odašiljača na metarskim valovima, jer svaki televizijski odašiljač emitira osim »vala sa slikama« stodobno i »val s tonom«[96]). Emisije na metarskim valovima mogu se primati s izvanredno d o b r o m k v a l i t e t o m z v u k a, jer je slobodno područje moduliranja odašiljača na metarskim valovima mnogo veće nego kod običnih razglasnih odašiljača. Osim toga metarski valovi se primaju s mnogo m a n j e s m e t n j i (vidi odsjek 432).

445. — Za *prijemne antene* za metarske valove mogu se upotrijebiti u odsjeku 441. opisane antene za ultrakratkovalne odašiljače, u prvom redu Hertzov dipol s prilagođenim dvožičnim pojnim vodom. Manje zahtjeve s obzirom na osjetljivost prijema zadovoljava i obična ne preduga razglasna antena, ili u blizini odašiljača samo komad žice dužine dva do tri metra. Pri tome treba paziti da prijemna antena bude *slabo vezana*, na primjer preko veznog kapaciteta manjeg od 5 pF. To je u primanju vrlo visokih frekvencija bezuvjetno potrebno zato, da bi titraji prijemnika u cijelom području ugađanja ostali konstantni, i da se spriječi

[96]) Ovdje opisani prijemnici metarskih valova prikladni su samo za primanje tonskog vala.

povratno djelovanje ugođenog ulaznog titrajnog kruga na prijemnu antenu. Nadalje se pri gradnji prijemnika za metarske valove mora, više nego kod prijemnika za kratke valove, paziti na izvedbu pojedinih dijelova, da budu sa što m a n j e g u b i t a k a. To vrijedi osobito za zavojnice i kondenzatore. Smiju se upotrijebiti samo najbolji (s obzirom na visoku frekvenciju) izolacioni materijali (vidi odsjek 349). Sve spojne žice treba položiti najkraćim putem, po mogućnosti što čvršće, jer dugački vodovi povisuju gubitke, a već male promjene položaja imaju velik utjecaj na frekvenciju.

446. — Najjednostavniji prijemnik za metarske valove je *audion s reakcijom* (sl. 327). Antena je priključena preko kondenzatora $C = 5$ pF, koji je spojen u seriju s promjenljivim kondenzatorom (trimerom) $C_2 = 10$ pF maksimalnog kapaciteta. Maksimalni ukupni vezni kapacitet iznosi dakle $C = C_1 \cdot C_2/(C_1 + C_2) = 3{,}33$ pF. S promjenljivim kondenzatorom C_2 može se namjestiti n a j p o v o l j n i j i vezni kapacitet (vidi odsjek 445). Za ugađanje titrajnog kruga upotrijebljen je serijski spoj promjenljivih kondenzatora $C_3 = 10$ pF i $C_4 = 50$ pF. Time je dobiven m a k s i m a l n i kapacitet od 8,3 pF. Umjesto kondenzatora C_3 može se staviti i odgovarajući manji i nepromjenljivi kondenzator. Pod tim okolnostima treba zavojnica $L_1 + L_2$ za prijem valova od 7 m imati $L_1 = 4$ zavoja, a $L_2 = 8$ zavoja od bakrene žice promjera 2 mm. Promjer zavojnice namotane slobodno ili na tijelu s malo gubitaka (vidi sl. 242) treba da je oko 30 mm. Na taj se način može postići dovoljno »široko« ugađanje. Okretanje promjenljivog kondenzatora mora da bude vrlo polagano, da se ne bi prešlo preko stanice. Zavojnica L_2 služi kao reakciona zavojnica. Kondenzator C_5, koji služi kao spoj za visoku frekvenciju ima kapacitet oko 100 pF. Preko rešetkinog kondenzatora $C_g = 50$ pF i odvodnog otpora $R_g = 1$ MΩ vezan je titrajni krug na uzbudnu rešetku triode.



Sl. 327.

447. — Anodni krug audiona s reakcijom izveden je u običnom spoju otpornog pojačanja. Elementi spoja R_3—C_8 i R_6—C_{11} djeluju kao zapor protiv povratne veze i kao filtarski spoj protiv brujanja. Reguliranje induktivne povratne veze izvodi se promjenom anodnog istosmjernog napona, koji se uzima s djelitelja napona $R_5 + R_7 + R_8$ (vidi odsjek 357). Time se postizava takozvana mekana reakcija. Tačno dimenzioniranje

raznih otpora ovisi o podacima triode. Uglavnom vrijede ovi podaci: $R_2 = 100$ kΩ, $R_3 = 20$ kΩ, $R_5 = 10$ kΩ, $R_6 = 20$ kΩ, $R_7 = R_8 = 25$ kΩ. Nadalje je vrlo važan spoj u k r u g u ž a r e n j a radi otklanjanja brujanja. Oba kondenzatora $C_6 = C_7 = 1\,000$ pF odvode visokofrekventne titraje na zemlju, dok je otpor $R_1 = 100$ Ω eliminator brujanja (vidi odsjek 396). Opisani audion s reakcijom zamišljen je kao p r v i s t u p a n j običnog razglasnog prijemnika, a može biti izgrađen i kao samostalni prijemnik metarskih valova s vlastitim niskofrekventnim pojačalom i mrežnim ispravljačem. Tonfrekventni izmjenični naponi dovode se preko kondenzatora $C_9 = 20\,000$ pF, zatim preko potenciometra za regulaciju jakosti zvuka $R_4 = 1$ MΩ i premosnog kondenzatora $C_{10} = 0{,}5$ μF na priključnice za zvučnicu normalnog radio-aparata. Izmjenični napon za žarenje i istosmjerni napon može se u većini slučajeva uzeti iz mrežnog dijela razglasnog prijemnika.[97])

Ponavljanje

Tonski modulirani valovi odašiljača ultrakratkih valova mogu se primati s osobitom kvalitetom zvuka i bez smetnji. *Prijemna antena* prijemnika za metarske valove mora da bude vezana vrlo slabo, da bi se spriječilo prekidanje titranja i povratno djelovanje ugođenog ulaznog kruga na prijemnu antenu. Kad se gradi prijemnik za metarske valove treba paziti, da pojedini dijelovi imaju malene gubitke i da su vodovi kratki i čvrsti. Najjednostavniji prijemnik za metarske valove je *audion s reakcijom*, kojeg se induktivna povratna veza regulira promjenom anodnog istosmjernog napona. Da ne dođe do brujanja, mora anodni napon biti filtriran otpornim filtrom, a krug žarenja mora da bude simetriran kondenzatorom, te snabdjeven eliminatorom brujanja. Za pojačavanje tonfrekventnih titraja, koje dobivamo iz prijemnika za metarske valove, prikladan je niskofrekventni dio običnog razglasnog prijemnika.

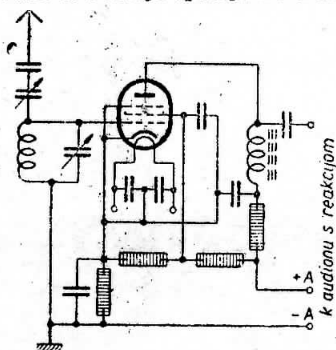
Pitanja i odgovori

Pitanje: Koje su prednosti prijema tonski moduliranih ultrakratkih valova? *Odgovor:* Dobiva se visoka kvaliteta zvuka i prijem bez smetnji. — *P.:* Čime se objašnjava visoka kvaliteta zvuka? *O.:* Time što odašiljač za ultrakratke valove može biti moduliran širim područjem tonova, nego običan razglasni odašiljač. — *P.:* Kako je to moguće? *O.:* Tako, da u području ultrakratkih valova svakom odašiljaču stoji na raspolaganju širi pojas frekvencija. — *P.:* Koje prijemne antene dolaze u obzir za primanje na metarskim valovima? *O.:* Odašiljačke antene za ultrakratke valove ili ne predugačke razglasne prijemne antene, odnosno komad žice od 2 do 3 metra. — *P.:* Na što treba paziti kod veze prijemne antene? *O.:* Ta veza mora da bude vrlo slaba. — *P.:* Zašto je to neophodno potrebno? *O.:* Zato da se spriječi povratno djelovanje ugođenog ulaznog kruga na prijemnu antenu, i da ne dođe do prekida titranja u prijemniku. — *P.:* Koji je najjednostavniji prijemnik za metarske valove? *O.:* Audion s reakcijom. — *P.:* Kako se ovdje regulira povratna veza? *O.:* Promjenom anodnog istosmjernog napona. — *P.:* Kako se praktički izvodi to reguliranje? *O.:* Pomoću omskog djelitelja napona u anodnom krugu. — *P.:* Što

[97]) Ako iz audionke dolazi brujanje, potrebno je žariti je iz posebnog transformatora (vidi sl. 329).

treba učiniti da se ukloni brujanje u prijemniku metarskih valova s priključkom na mrežu? *O.:* Anodni istosmjerni napon treba filtrirati otpornim filtrom, a krug žarenja simetrirati kondenzatorima i providjeti eliminatorom brujanja. — *P.:* Kako se predstupanj za metarske valove priključuje na razglasni prijemnik? *O.:* Tonfrekventni izmjenični naponi dovode se na priključnice predviđene za priključak zvučnice razglasnog prijemnika. Anodni istosmjerni napon, i izmjenični napon za žarenje mogu se najčešće uzeti iz mrežnog dijela razglasnog prijemnika.

448. — Osjetljivost prijema pomoću audiona s reakcijom nije uvijek dovoljna da se dobije glasan prijem metarskih valova. Zato se može pred audionski stupanj uključiti jedan stupnaj ugođenog *visokofrekventnog pojačala.* S normalnim elektronkama za visokofrekventno pojačavanje ne možemo na žalost postići znatnije pojačanje u području ultrakratkih valova. Postoje specijalne elektronke, na primjer Telefunken SF 1 A (vidi odsjek 348), koja je upotrebljiva sve do valne dužine od 1 m. Dodavanje jednog stupnja visokofrekventnog pojačala, iako pojačanju ne pridonosi praktički ništa, ima veliku prednost u tome što se postiže neovisnost o anteni i sprečava povratno djelovanje na antenu (vidi odsjek 445). Na sl. 328. vidimo spoj ugođenog visokofrekventnog stupnja s pentodom. Antenska veza izvedena je prema sl. 327. Titrajni krug se sastoji od zavojnice sa 4 zavoja promjera 30 mm i malenog promjenljivog kondenzatora maksimalnog kapaciteta 25 pF. U anodnom krugu spojena je visokofrekventna prigušnica induktiviteta 2 mH, malog vlastitog kapaciteta. Odavde se visokofrekventni stupanj preko kondenzatora kapaciteta 50 pF veže na ulazni krug audiona s reakcijom. Svi ostali dijelovi imaju isto značenje kao u spojevima visokofrekventnih pojačala koja smo dosada opisali (na primjer usporedi sl. 165).

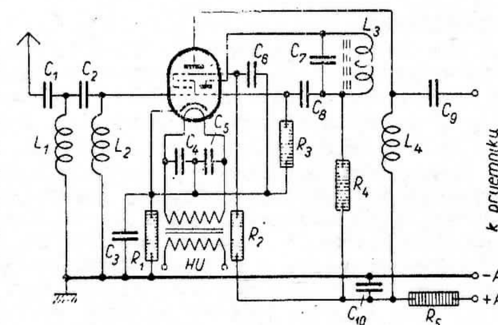


Sl. 328.

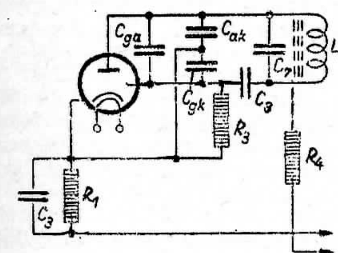
449. — Vrlo dobar prijemnik za metarske valove dobit ćemo tako da iskoristimo ne samo niskofrekventni dio razglasnog prijemnika, nego cijeli prijemnik. Takav prijemnik dobivamo tako da predstupanj za metarske valove spojimo kao *superheterodinski stupanj za miješanje* te bilo koji razglasni prijemnik upotrijebimo kao *međufrekventno* i niskofrekventno pojačalo. U predstupnju proizvedena međufrekvencija mora pasti u područje valova razglasnih odašiljača. Budući da srednjevalno područje razglasnog prijemnika obuhvaća frekvencije od 1 500 do 500 kHz, dakle ukupno 1 000 kHz, možemo pomoću razglasnog prijemnika primati sve frekvencije f_e, koje s frekvencijom oscilatora $f_ü$ daju međufrekvencije $f_z = f_e - f_ü$, odnosno $f_z = f_ü - f_e$, između 1 500 i 500 kHz (vidi odsjek 263). Ako je na primjer razglasni prijemnik ugođen

na prijemnu frekvenciju 800 kHz, onda on iza stupnja za miješanje radi kao međufrekventno pojačalo na međufrekvenciji 800 kHz. Za slučaj da je frekvencija transponiranja na primjer $f_ü$ = 42 200 kHz, možemo primati odašiljač koji radi na frekvenciji $f_e = f_ü + f_z$ = = 42 200 + 800 = 43 000 kHz ($\lambda \approx 7$ m). Ako je frekvencija $f_ü$ za transponiranje stalna, ne treba stupanj za miješanje kod primanja metarskih valova uopće ugađati. Razne frekvencije iz područja metarskih valova daju tada razne međufrekvencije, na koje mora biti ugođen samo priključeni razglasni prijemnik. Time jednim udarcem otpadaju sve poteškoće ugađanja, jer je ugađanje sada isto tako jednostavno kao i kod običnog prijemnika.

450. — Jedan spoj *dodatnog uređaja za metarske valove* prikazan je na sl. 329. U stupnju za miješanje upotrijebljena je *trioda-heksoda,* na primjer ACH 1, ili još bolje čelična ECH 11 (vidi odsjeke 290 do 292). Spoj je sličan spoju triode-heksode na sl. 210. U ulaznom krugu nalazi se *filtarski član* C_1 = 25 pF — L_1—C_2= = 30 pF — L_2, koji sprečava ulaz svim titrajima srednjevalnog i dugovalnog područja, a propušta samo titraje ispod valne dužine od 200 m. Prigušnice L_1 i L_2 su namotane na visokofrekventno izolaciono tijelo promjera 15 mm i imaju 33 zavoja žice debljine 0,3 mm u jednom sloju. U elektronki za miješanje miješa se primana frekvencija sa stalnom frekvencijom. Frekvencija titraja transponiranja proizvedenih u triodnom dijelu elektronke određena je titrajnim krugom L_3—C_7. Zavojnica L_3 ima 7 zavoja na tijelu (s visokofrekventnom jezgrom) promjera 30 mm i visine 80 mm (slično kao na sl. 242), i kondenzator C_7 kapaciteta 10 pF. Spoj oscilatora razlikuje se od spoja na sl. 210, jer je titrajni krug L_3—C_7 u ovom slučaju spojen između anode i uzbudne rešetke triode. Upada u oči da ovdje nema posebne zavojnice za reakciju. Reakcija se ovdje dobiva pomoću kapacitivnog djelitelja napona, koji čine unutarnji kapaciteti elektronke. To će nam biti odmah jasno ako razmotrimo spoj triode na sl. 330. Vidimo da se kapacitivni djelitelj napona sastoji od serijskog spoja kapaciteta anoda-katoda C_{ak} i kapaciteta rešetka-katoda C_{gk}. U principu prikazan je ovdje Colpittsov spoj prema



Sl. 329.



Sl. 330.

sl. 253. Ovako nastali međufrekventni tiraji dovode se s visokofrekventne prigušnice L_4 = 35 mH (ili s visokoomskog otpora od 30 kΩ) preko kondenzatora C_9=500 pF i kratkog oklopljenog voda a n t e n s k o j p r i k l j u č n i c i dodanog razglasnog prijemnika (vidi sl. 329). Elektronka za miješanje dobiva struju žarenja iz svog vlastitog transformatora, a anodni istosmjerni napon uzet je direktno iz razglasnog prijemnika. U daljnje pojedinosti spoja sa sl. 329. nije potrebno ponovno ulaziti. Neka budu spomenute samo još neke vrijednosti: R_1 = 300 Ω, R_2 = 30 do 50 kΩ, R_3 = = 20 kΩ (ACH 1), odnosno 50 kΩ (ECH 11), R_4 = 30 kΩ, R_5 = 10 kΩ, C_3 = = 0,1 μF, C_4 = C_5 = 5 000 pF, C_6 = 0,1 μF, C_8 = 100 pF, C_{10} = 1 μF. Konačno valja dodati da se opisani superadaptor može vrlo dobro upotrijebiti i za primanje kratkih valova. U tom slučaju treba za svako područje kratkih valova uzeti drugi titrajni krug $L_3 — C_7$, na primjer L_3 = 21 zavoj i C_7 = = 50 pF za područje oko 31 m.

Ponavljanje

S v i s o k o f r e k v e n t n i m s t u p n j e m p o j a č a l a ne može se kod metarskih valova uz upotrebu normalnih elektronki postići znatnije pojačanje, ali se može postići savršeno odjeljivanje antene i sprečavanje povratnog djelovanja prijemnika na antenu. Doda li se s u p e r a d a p t o r z a m e t a r s k e v a l o v e pred bilo kakav razglasni prijemnik, dobivamo dobar prijemnik za metarske valove. Super-predstupanj s triodom-heksodom služi kao stupanj za miješanje, i iza njega se dobivaju međufrekventni titraji, dok dodani razglasni prijemnik radi kao međufrekventno i kao niskofrekventno pojačalo. Radi li stupanj za miješanje sa s t a l n o m frekvencijom transponiranja, potrebno je samo razglasni prijemnik ugađati na željenu frekvenciju. Ovo je ugađanje isto tako lako izvodivo kao kod običnog razglasnog prijemnika. Na ulazu stupnja za miješanje nalazi se f i l t a r koji propušta samo primane titraje ispod valne dužine od 200 m.

Pitanja i odgovori

Pitanje? Koja se prednost dobiva dodavanjem visokofrekventnog stupnja pred audion s reakcijom za metarske valove? *Odgovor:* Savršena neovisnost o anteni, nema povratne veze na antenu. — *P.:* Postizava li se istodobno i neko pojačanje? *O.:* Znatnije visokofrekventno pojačanje može se postići samo upotrebom specijalne elektronke. — *P.:* Kako se može bilo koji prijemnik najsvrsihodnije iskoristiti kao dio prijemnika za metarske valove? *O.:* Ispred razglasnog prijemnika treba dodati super-stupanj za miješanje. — *P.:* Koji zadatak ima tada razglasni prijemnik? *O.:* On mora međufrekventne titraje, koji nastaju u stupnju za miješanje, pojačati i demodulirati, a niskofrekventne titraje pojačati. — *P.:* Kolika treba da bude frekvencija transponiranja u oscilatoru stupnja za miješanje? *O.:* Tolika da nastali međufrekventni titraji padaju u područje razglasnih valova. — *P.:* Koja je prednost namještanja stupnja za miješanje na stalnu frekvenciju transponiranja? *O.:* U tom slučaju stupanj za miješanje nije potrebno kod primanja metarskih valova ugađati. — *P.:* Kako se u tom slučaju ugađa na metarski val? *O.:* Samo pomoću razglasnog prijemnika, koji se ugađa na odgovarajuću nastalu međufrekvenciju. — *P.:* U čemu je prednost ovog načina ugađanja? *O.:* U tome što je ugađanje isto tako jednostavno kao kod običnog razglasnog prijemnika. — *P.:* Kakav je spoj za miješanje najbolji? *O.:* Spoj s triodom-heksodom. — *P.:* Kako je izveden ulazni krug stupnja za miješanje? *O.:* Kao filtar koji potiskuje sve titraje iznad valne dužine od 200 m. — *P.:* Kako se dovode pogonski naponi do stupnja za miješanje? *O.:* Napon žarenja uzima se iz posebnog transformatora, a istosmjerni napon iz dodanog razglasnog prijemnika.

Pitanja

209. Koji se zahtjevi postavljaju na praktičku gradnju prijemnika za metarske valove?

210. Kako se može u prijemniku za metarske valove postići »široko« ugađanje?

211. Kako se može sagraditi dobar prijemnik za metarske valove s najmanje utroška?

Zadaci

143. Krug za ugađanje prijemnika za metarske valove sastoji se od induktiviteta 1,8 μH, kojemu paralelno leži serijski spoj od nepromjenljivog kapaciteta od 10 pF i promjenljivog kondenzatora (vidi sl. 327). Promjenljivi kondenzator ima (zajedno s kapacitetom dovoda) početni kapacitet od 20 pF i konačni kapacitet 55 pF: a) Koje područje valova obuhvaća krug za ugađanje? b) Koje područje frekvencija otpada na svaki stupanj skale, ako ona ima 100 podjeljaka?

144. Štetni kapacitet ulaznog rešetkinog kruga prijemnika za metarske valove iznosi 20 pF: Koliki je radni otpor za izmjeničnu struju ulaznog kruga kod valne dužine od 5 m, 7 m i 10 m, u slučaju da je oštrina rezonancije 50?

451. — Pod konac ćemo još promotriti *prijemnik sa superregeneracijom.* Sa superregeneracijom može se najveće pojačanje elektronke potpuno iskoristiti. Već sasvim mali ulazni izmjenični naponi mogu uzbuđivati čak i veće elektronke, u koliko se samo ti naponi (signali) nalaze iznad razine smetnji. Superregenerativni spoj je u početku razvoja radio-tehnike imao veliko značenje. Kasnije je zbog svojih nedostataka napušten. Što je manja dužina vala, to superregeneracija povoljnije radi, tako da baš u području metarskih valova dolazi ponovno do primjene. Dok se povratna veza u običnom prijemniku, da bi se dobila što veća osjetljivost, toliko pojačava da audionska elektronka radi pred samim početkom osciliranja (vidi odsjeke 176 do 179), ima prijemnik sa superregeneracijom *promjenljivu povratnu vezu, koja se automatski mijenja.* Pri tome se radna tačka audionske elektronke, koja radi s jakom reakcijom, uslijed dodanog izmjeničnog napona na rešetku periodički pomiče, te oscilacije naizmjence nastaju i prekidaju se. Posljedica toga je da se pojačavanje audionske elektronke periodično zakočuje. U ulaznom krugu postoje tada t r i vrsti titraja: *titraji primane frekvencije, titraji vlastite frekvencije* uslijed povratne veze i *titraji frekvencije* u taktu, koje se periodično mijenja stupanj povratne veze. Ova prva titranja imaju praktički istu frekvenciju. Superregeneracioni titraji, dakle titraji dodanog izmjeničnog rešetkinog prednapona, treba da imaju znatno nižu frekvenciju. Ovi se titraji mogu proizvesti samom audionskom elektronkom, ili još bolje pomoću posebne elektronke.

452. — Na ulazni krug audionske elektronke s povratnom vezom neka dolaze neki vanjski antenom primani titraji. Faktor pojačanja audionskog stupnja ovisit će o prigušenju ulaznog titrajnog kruga, a to je opet ovisno o stupnju povratne veze. Ako je povratna veza prejaka, audionka će proraditi ujedno i kao oscilator. Stupanj povratne veze može se mijenjati i pomakom radne tačke na karakteristici elektronke promjenom napona rešetke ili promjenom napona anode. Superregenerativnim titrajima proizvedenima pomoću superregenerativnog titrajnog kruga posebnom elektronkom ili baš i samom audionkom mijenja se napon rešetke, pa tako i strmina u radnoj tački elektronke. Stupanj povratne veze ovisi o ovoj strmini prema jednadžbi $\mathfrak{R} = D + 1/(S \cdot R_a)$. Sa stupnjem povratne veze mijenja se i prigušenje ulaznog titrajnog kruga, odnosno njegov otpor, a s ovim opet veličina amplituda primanih signala. Na taj se način mogu i kod primanja vrlo slabih signala dobiti na titrajnom krugu s lakoćom korisni naponi i do 50 V.

453. — Samouzbuđenje audionske elektronke ne smije se podržavati predugo, jer se kod audiona koji stalno oscilira vlastiti titraji trajno podržavaju na istoj visini, to jest ne mijenjaju se u taktu modulacije primanih titraja. U tom slučaju čut ćemo interferentni ton, koji nastaje miješanjem primane i vlastite frekvencije. Moramo se dakle pobrinuti da se samouzbuđenje audionske elektronke pravodobno prekine, kako bi vlastiti titraji mogli nestati. *Superregeneraciona frekvencija*, koja određuje brzinu nastajanja i prestajanja vlastitih titraja, mora se izabrati tako velikom da se vlastiti titraji ulaznog kruga s jedne strane za vrijeme trajanja samouzbuđenja ispravno »utitraju«, a s druge strane da za vrijeme zakočenja samouzbuđenja nestanu potpuno do nule ili barem da se snize ispod nivoa smetnji; inače dolazi do znatnog smanjenja pojačanja. Veličina superregeneracione frekvencije treba da bude oko 20 do 100 kHz, dakle izvan područja čujnih frekvencija. Kako je vrijeme, koje prođe dok vlastiti titraji porastu do maksimalne amplitude, to k r a ć e što je v i š a primana frekvencija, spoj sa superregneracijom radi to povoljnije, što je m a n j a dužina vala. I onda kad se ne prima ni jedan odašiljač, stvaraju se utjecajem titraja od raznih smetnji (atmosferskih, toplinskih, efekta sačme, šuma elektronki) vlastiti titraji u ulaznom krugu, koji se zbog nepravilnih amplituda nakon demodulacije čuju kao šum. Kod primanja nekog odašiljača nastajanje i nestajanje valstitih titraja opet je pravilno (bez obzira na razinu smetnji), tako da šum, kad je ugađanje na primane titraje tačno, skoro sasvim iščezne. Ako se prijemnik malo razgodi, šum se opet čuje. Šum se može spriječiti ako se stupanj povratne veze promjenom istosmjernog napona tako namjesti, da male amplitude od smetnji nisu dovoljne da dovedu do vlastitog titranja. Može se reći da prijemnik sa superregeneracijom, usklađen da ispravno radi, ne zaostaje za prosječnim razglasnim prijemnikom u pogledu šuma i faktora izobličenja, iako se to često bezrazložno poriče. Treba još svakako dodati da se sa superregeneracionim prijemnikom ne može postići najbolja kvaliteta reprodukcije, kojom se inače odlikuje prijem na metarskim valovima.

Ponavljanje

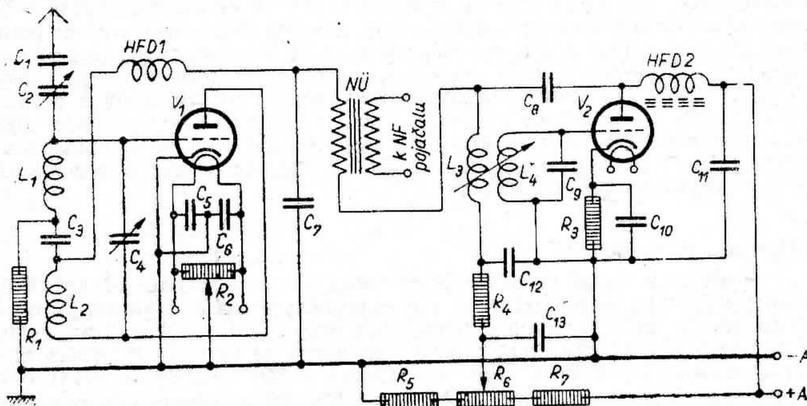
Prijemnici sa superregeneracijom čine posebnu grupu prijemnika za metarske valove. Pomoću superregeneracije može se iskoristiti maksimalno pojačanje neke elektronke. Kod ovih se prijemnika radi s a u t o m a t s k i p r o m j e n l j i v o m p o v r a t n o m v e z o m. To se postiže tako da se radna tačka audionske elektronke, koja radi s jakom reakcijom, periodički pomiče u ritmu titraja superregeneracione frekvencije, te vlastiti titraji naizmjence nastaju i prestaju. Primani titraji potiču ulazni krug audionske elektronke za vrijeme trajanja samouzbuđenja na jako vlastito titranje, tako da u tim momentima postoje tri vrsti titraja, i to titraji primane frekvencije, vlastite frekvencije i superregeneracione frekvencije. S u p e r r e g e n e r a c i o n a f r e k v e n c i j a treba da bude tako odabrana da se vlastiti titraji ulaznog kruga mogu za vrijeme trajanja samouzbuđenja ispravno razviti, a za vrijeme zakočenja samouzbuđenja da mogu nestati. Superregeneraciona frekvencija iznosi oko 20 do 100 kHz. U ulaznom krugu uslijed raznih smetnji nastaju nepravilni vlastiti titraji i tada kad se ne prima ni jedna stanica. Zbog toga se u prijemniku čuje šum, koji kod tačnog ugađanja na primanu frekvenciju nestaje. Ispravnim namještanjem stupnja povratne veze može se šum praktički posve ukloniti.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja je prednost prijemnika sa superregeneracijom? *Odgovor:* Kod njih se postiže vrlo veliko pojačanje već sa samom jednom elektronkom, makar primani titraji bili vrlo slabi. — *P.*: Čime se to postizava? *O.*: Automatskom promjenom povratne veze. — *P.*: Kako nastaje promjena povratne veze? *O.*: Radna tačka audionske elektronke s jakom povratnom vezom pomiče se u ritmu titraja superregeneracione frekvencije, tako da titraji povratne veze naizmjence nastaju i prestaju. — *P.*: Kako se tumači veliko pojačavanje primanih titraja? *O.*: Primani titraji dovode ulazni krug za vrijeme samouzbuđenja audionske elektronke u stanje jakog vlastitog titranja. Minimalne početne amplitude primanih titraja uzbuđuju maksimalne konačne amplitude vlastitih titraja ulaznog kruga. — *P.*: Zašto ne smije samouzbuđenje audionske elektronke predugo trajati? *O.*: Zato da vlastiti titraji ne zadrže trajno svoje konačne amplitude, jer u tom slučaju ne može na njih djelovati modulacija primanih titraja. — *P.*: Po čemu se može ovo nepoželjno stanje raspoznati? *O.*: U prijemniku se čuje samo interferentni ton, a ne modulacija. — *P.*: Koju vrijednost može imati superregeneraciona frekvencija? *O.*: Vrijednost između 20 i 100 kHz. — *P.*: Čime se objašnjava nastajanje šuma u prijemnicima sa superregeneracijom? *O.*: Ulazni krug pobuđen bilo kakvim titrajima raznih smetnji izvodi nepravilno vlastito titranje. — *P.*: Odakle dolaze titraji raznih smetnji? *O.*: Od atmosferskih smetnji, od toplinskog šuštanja, efekta sačme itd. — *P.*: Kako se može taj šum prigušiti? *O.*: Ispravnim namještanjem stupnja povratne veze.

454. — Nakon što smo teoretski razmotrili djelovanje superregeneracije, upoznat ćemo se u jednom primjeru s praktičkom *izvedbom audiona za metarske valove sa superregeneracijom* (sl. 331). Prema odsjeku 451. proizvode se titraji superregeneracione frekvencije pomoću posebne elektronke V_2, a ne s audionskom elektronkom V_1. Antenski krug i krug žarenja audionskog stupnja spojeni su kao na sl. 327. ($C_1 = 5$ pF, $C_2 = 10$ pF, $C_5 = C_6 = 3\,000$ pF, $R_2 = 100\,\Omega$). Zavojnica re-

šetkinog kruga ima 9 zavoja, zavojnica za povratnu vezu L_2 ima 7 zavoja a namotane su slobodno bakrenom žicom debelom 1,5 mm, promjera zavoja od 10 mm. Zavojnice su s obzirom na istosmjernu struju međusobno odijeljene kondenzatorom $C_3 = 100$ pF, koji ujedno služi kao rešetkin kondenzator i kondenzator za povratnu vezu. Rešetkin odvodni otpor R_1 ima vrijednost 1 do 2 MΩ. Ugađanje se vrši kondenzatorom $C_4 = 25$ pF, koji mora imati finu skalu za ugađanje. U anodnom krugu spojena je visokofrekventna prigušnica *HFD 1*, koja ima male gubitke (45 zavoja bakrene žice 0,1 mm promjera namotano na tijelu promjera



Sl. 331.

12. mm), premosni kondenzator $C_7 = 1\,000$ pF, niskofrekventni transformator *NÜ* i zavojnica L_3. Reguliranje povratne veze izvodi se promjenom anodnog istosmjernog napona (vidi odsjek 453) pomoću otpora R_6 u omskom djelitelju napona $R_5 = 10$ kΩ + $R_6 = 50$ kΩ + $R_7 = 100$ kΩ. Elementi spoja $C_{12} = 2$ μF, $R_4 = 20$ kΩ i $C_{13} = 2$ μF djeluju kao zapor protiv povratne veze i kao filtar za anodni istosmjerni napon.

455. — *Superregeneracioni stupanj* radi s triodom V_2, koja anodni istosmjerni napon dobiva preko prigušnog filtra *HFD 2* = 120 mH i $C_{11} = 0,1$ μF. *HFD 2* je međufrekventna prigušnica s visokofrekventnom jezgrom. Superregeneraciona frekvencija proizvodi se induktivnom povratnom vezom sa zavojnice L_3 na rešetkin titrajni krug $L_4 — C_9$, koji je kondenzatorom $C_9 = 5\,000$ pF ugođen na superregeneracionu frekvenciju od kojih 35 kHz. Zavojnica L_3 ima 350 zavoja, a zavojnica L_4 ima 500 zavoja od bakrene žice 0,07 mm promjera namotane na tijelu promjera 20 mm. Obje su zavojnice građene tako da se njihov međusobni razmak može m i j e n j a t i, kako bi se promjenom stupnja veze mogle namjestiti najpovoljnije amplitude superregeneracione frekvencije. Superregeneracioni titraji se preko kondenzatora $C_8 = 5\,000$ pF superponiraju

anodnom naponu audionke. Ovim kondenzatorom su također obje elektronke odijeljene s obzirom na istosmjernu struju, što je važno za ispravan rad superregeneracione veze. Katodni otpor $R_3 = 1,5$ kΩ premošten je kondenzatorom $C_{10} = 10\,000$ pF i služi za dobivanje negativnog rešetkinog prednapona. Za pojačavanje niskofrekventnog napona do željene glasnoće u zvučniku priključuje se na niskofrekventni transformator *NÜ* dvostepeno niskofrekventno pojačalo s otpornom vezom. U ovu svrhu može se upotrijebiti i niskofrekventno pojačalo razglasnog prijemnika.

Najvažnija područja primjene metarskih valova

456. — Već smo u odsjeku 432. govorili o primjeni metarskih valova u *televiziji*. No metarski valovi imaju također veliko značenje za *osiguravanje avionskog i pomorskog prometa*. Oni se upotrebljavaju za *usmjerivanje vožnje aviona* i *umjesto svjetla svjetionika* u plovidbi za nepovoljna vremena. Za odašiljanje metarskih valova služi u tom slučaju *radio-kompas*. On se sastoji na primjer od jednog dipola, koji emitira Morseov znak *a* (·—) u jednom smjeru, dok drugi dipol za vrijeme pauze prvog dipola emitira Morseov znak *n* (—·), također usmjereno. Oba dipola djeluju kao refleksioni dipoli za jedan treći dipol, koji leži među njima. Superpozicijom jednako jakih usmjerenih isijavanja od oba ova dipola poprima srednji dipol određenu usmjernu karakteristiku. Ako avion leti u smjeru linije simetrije refleksionih dipola, onda prima s t a l n u c r t u sastavljenu od oba Morseova znaka. Ako zastrani s ovog pravca prima Morseov znak *a*, odnosno *n*. Tako se avion može pomoću »radio-staze« dovesti cilju (spuštanje ili uzdizanje naslijepo pomoću odašiljača).

457. — Osim toga upotrebljavaju se metarski valovi često *umjesto obične telefonske veze* na primjer pri gradnji cesta, kod radova na kultiviranju neprohodnih krajeva, pri gardnji velikih mostova, za sporazumijevanje između inženjera i pojedinih mjesta gradnje, u telefonskom prometu između otoka i kopna ili između gradova. Tako na primjer od god. 1932. postoji telefonski promet između kopna i otoka Korzike na metarskim valovima dužine 7,6 i 8,3 m. Stanica na kopnu leži 500 m nad morem, a stanica na otoku 300 m nad morem, dok premoštena udaljenost iznosi 180 km. Budući da metarski valovi djeluju također i *biološki*, upotrebljavaju se u medicini kao važno pomoćno sredstvo za liječenje izvjesnih bolesti. Najčešće se radi s valnim dužinama između 3 i 15 m. Iako navedeni primjeri ne obuhvaćaju sva područja primjene metarskih valova, ipak pokazuju koliku korist možemo od njih imati.

Ponavljanje

Opisali smo spoj a u d i o n a s a s u p e r r e g e n e r a c i j o m z a m e t a r s k e v a l o v e, u kojem se superregeneraciona frekvencija proizvodi posebnom elektronkom. Superregeneracioni titraji dodaju se anodnom naponu audionske elektronke preko kondenzatora, koji istodobno

s obzirom na istosmjernu struju dijeli anodne krugove audionke i elektronke za superregeneracionu frekvenciju.

Najvažnija područja primjene metarskih valova su televizija, osiguranje avionskog i pomorskog prometa pomoću radio-kompasa i bežični telefonski promet. Metarski valovi mogu proizvesti i biološke učinke, pa se upotrebljavaju i u medicini.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je u načelu spojen opisani prijemnik za metarske valove sa superregeneracijom? *Odgovor:* On se sastoji od audiona s povratnom vezom i posebne elektronke koja proizvodi superregeneracione titraje. — *P.:* Kako se superregeneracioni titraji prenose na audionski stupanj? *O.:* Superregeneracioni titraji dodaju se anodnom naponu audionske elektronke. — *P.:* Kako se može namjestiti najpovoljnija amplituda superregeneracione frekvencije? *O.:* Promjenom stupnja veze između zavojnica, pomoću kojih se proizvode superregeneracioni titraji. — *P.:* Koja su glavna područja primjene metarskih valova? *O.:* U televiziji, u osiguravanju avionskog i pomorskog prometa, u bežičnom telefonskom prometu i u medicini. — *P.:* Čemu služi radio-kompas? *O.:* Za davanje smjera avionima i kao zamjena za svjetionike za nepovoljna vremena. — *P.:* Kako u principu djeluje radio-kompas? *O.:* S tri dipola isijavaju se u tri smjera određeni znakovi. — *P.:* Kako se može na taj način osigurati spuštanje na cilj? *O.:* Ako avion leti u ispravnom smjeru, naime po simetrali radio-kompasa, onda prijemnik na avionu prima stalan ton. Pri zastranjenju ulijevo ili udesno prima različite Morseove znakove.

Pitanja

212. Koje vrsti titraja treba razlikovati u prijemnicima sa superregeneracijom?

213. Kakav utjecaj ima superregeneraciona frekvencija na povratnu vezu audiona sa superregeneracijom?

214. Na što treba paziti pri ugađanju prijemnika sa superregeneracijom?

Zadaci

145. Pomoću prijemnika sa superregeneracijom prima se val dužine 6 m. Koliko je: a) vrijeme trajanja jednog titraja, b) broj titraja u sekundi, c) koliko titraja može ulazni krug izvesti za vrijeme jedne poluperiode superregeneracione frekvencije, ako je superregeneraciona frekvencija 40 kHz?

Općenito o decimetarskim valovima

458. — *Decimetarski valovi* obuhvaćaju valno područje od 10 do 100 cm, dakle područje frekvencija od 3 000 do 300 MHz. Već je *Heinrich Hertz* u svojim pokusima sa bežičnim titrajima radio s valovima dužine oko 66 cm, koje je proizvodio pomoću iskrišta (vidi dio I, odsjek 143). Decimetarski valovi *rasprostiru* se isto kao i metarski (vidi odsjeke 432 do 434), samo još brže oslabe kad naiđu na brda, kuće, drveće,

itd. Širenje decimetarskih valova pretežno je pravocrtno. No postoji i kod njih, kao i kod metarskih valova, pojava loma i savijanja oko horizonta, tako da je njihov stvarni doseg često veći nego što je vidni dogled. Decimetarski valovi mogu se zbog svoje vrlo male dužine osobito lako *usmjerivati.* Na taj način se mogu s malim energijama premostiti velike udaljenosti (na primjer sa 0,5 W oko 200 km). Usmjerivanje se može izvršiti pomoću dipola, usmjernih antena ili paraboličnih zrcala (kao kod optičkih reflektora). Tako se može postići stožac isijavanja s kutom od 3° i manjim. Odaslani decimetarski valovi neke odašiljačke antene mogu se usporediti s optičkim reflektorom. U odsjeku 432. govorili smo već o tome da su smetnje na području decimetarskih valova male, jer razlaganja u odsjecima 432. do 434. vrijede općenito za sve ultrakratke valove. Kao *odašiljačke antene za decimetarske valove* mogu se upotrijebiti, što je već ukratko spomenuto, u prvom redu uobičajeni dipoli i usmjerne antene odgovarajućih malih dimenzija, ali isto tako i sistem paralelnih žica (Lecherov sistem, vidi odsjek 441).

459. — Za *proizvođenje decimetarskih valova* dolaze u obzir uglavnom tri načina:

1. *Samouzbuđenje* na poznati način pomoću reakcije. Na taj način mogu se proizvoditi valovi do 30 cm dužine, ako se upotrijebe specijalne elektronke malog kapaciteta, takozvane *žir-elektronke* ili *dugme-elektronke* (vidi odsjek 435). Stupanj iskoristivosti je kod ovog načina vrlo malen; na primjer uz upotrebu specijalne elektronke snage gubitka na anodi 40 W, i na valnoj dužini od 50 cm iznosi jedva 7,5%. To odgovara izmjeničnoj snazi od 3 W (prema 15 W kod valne dužine od 1 m).

2. Pomoću *elektronke sa zapornim poljem,* kod čega je stupanj iskoristivosti također vrlo malen, na primjer samo 5% kod gubitka na anodi od 80 W i na valnoj dužini od 50 cm. Izmjenična snaga iznosit će dakle u ovom slučaju jedva 4 W.

3. Pomoću *elektronke s magnetskim poljem,* što se danas najčešće upotrebljava za proizvođenje decimetarskih i centimetarskih valova. Pomoću ovakvih vodom hlađenih elektronki može se postići stupanj iskoristivosti od 50% i više! Osim toga elektronke s magnetskim poljem daju razmjerno velike izmjenične snage, na primjer 150 W na valnoj dužini od 46 cm i uz stupanj iskoristivosti od 41%.

Način rada elektronke sa zapornim poljem

460. — Ako na *uzbudnu rešetku* obične triode priključimo velik *pozitivni* istosmjerni napon, na primjer $U_g = 200$ V, a na *anodu negativni* istosmjerni napon na primjer $U_a = -20$ V, onda će elektroni, emitirani iz katode, biti pozitivnom uzbudnom rešetkom ubrzani i letjet će većim

dijelom kroz uzbudnu rešetku prema anodi. No negativni napon će elektrone pred anodom *zakočiti* (odatle naziv *elektronka sa zapornim poljem*), pa će se oni vratiti natrag prema pozitivnoj uzbudnoj rešetki. Većina elektrona će ponovo proletjeti kroz rešetku, dok će ih katoda, odnosno prostorni naboj, zakočiti i vratiti natrag. Konačno će jedan dio elektrona sletjeti na uzbudnu rešetku, odakle će kao vanjska rešetkina struja otjecati prema katodi, dok će drugi dio elektrona opisani proces ponoviti. Vidimo dakle da se elektroni, prije nego sjednu na uzbudnu rešetku, više puta oko nje *njišu*, to jest elektroni na neki način *plešu* između elektroda. Možemo dakle govoriti o *»električkom plesu«*. Mehaničko gibanje elektrona u oba smjera *u unutarnjosti* elektronke predstavlja *vlastito električko titranje*, te određuje njegovu frekvenciju. Ovi se titraji po svojim pronalazačima nazivaju *Barkhausen-Kurzovim titrajima*. Vanjski elementi spoja, koji u običnim elektronkama određuju vlastitu frekvenciju, imaju ovdje samo sporedan utjecaj. Valna dužina λ ovih elektronskih titraja iznosi prema *Barkhausenu* približno:

$$\lambda = \frac{1000\,(0{,}6\,d_g + d)}{\sqrt{U_g}} \quad \ldots\ldots \quad (81)$$

$$d = \frac{U_g}{U_g - U_a}\,(d_a - d_g) \quad \ldots\ldots \quad (82)$$

Ovdje U_g označuje rešetkin istosmjerni napon u [V], U_a anodni istosmjerni napon u [V], d_a = promjer cilindrične anode, a d_g = promjer cilindrične uzbudne rešetke. Uvrsti li se na primjer d_a i d_g u [cm], dobiva se dužina vala λ također u [cm]. Za grubi približni račun dostaje često ova jednadžba:

$$\lambda \approx \frac{1000 \cdot d_a}{\sqrt{U_g}} \quad \ldots \quad (83)$$

Valna dužina λ kod elektronskih titraja prema tome je uz dane dimenzije elektronke obrnuto proporcionalna kvadratnom korijenu iz rešetkinog istosmjernog napona. U grubom približenju može se $\lambda^2 \cdot U_g$ uzeti *konstantnim*.

Ponavljanje

Decimetarski valovi šire se isto kao i metarski valovi, a razne zapreke slabe decimetarske valove još više nego metarske. Decimetarski valovi mogu se zbog svoje male valne dužine lako usmjerivati, na primjer paraboličnim zrcalom. Kao odašiljačka antena za decimetarske valove služi dipol, usmjerna antena i sistem paralelnih žica. Za proizvođenje decimetarskih valova dolazi u obzir u prvom redu povratna veza ili reakcija, zatim elektronka sa zapornim poljem i elektronka s magnetskim poljem. Pomoću elektronke s magnetskim poljem postiže se najveći stupanj iskoristivosti i najveća

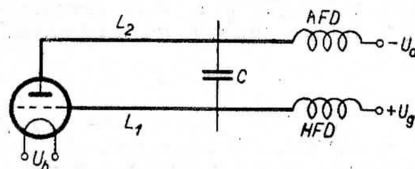
izmjenična snaga. Ako se na uzbudnu rešetku neke triode dovede veliki pozitivni napon, a na anodu negativni napon, onda će trioda raditi kao elektronka sa zapornim poljem. U njoj se elektroni njišu oko uzbudne rešetke i izvode »električki ples«. Uslijed toga nastaju u unutarnjosti elektronke vlastiti titraji, naime Barkhausen-Kurzovi titraji, kod kojih je uz dane dimenzije elektronke dužina vala obrnuto proporcionalna kvadratnom korijenu iz istosmjernog rešetkinog napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Šire li se decimetarski valovi drugačije nego metarski valovi? *Odgovor:* Ne, jedino što decimetarske valove zapreke oslabe više nego metarske valove. — *P.:* Kako se decimetarski valovi mogu usmjeriti? *O.:* Dipolima, usmjernim antenama, a osobito paraboličkim zrcalima. — *P.:* Koja vrst antene dolazi kod odašiljača za decimetarske valove u obzir? *O.:* Dipol, usmjerna antena i sistem paralelnih žica. — *P.:* O kojim smo postupcima za proizvođenje decimetarskih valova govorili? *O.:* O postupku s povratnom vezom, o postupku s elektronkama sa zapornim i magnetskim poljem. — *P.:* Koji se način danas najviše upotrebljava i zašto? *O.:* Način pomoću elektronke s magnetskim poljem, jer ona radi s najvećim stupnjem iskoristivosti i daje najveću izmjeničnu snagu. — *P.:* Kada trioda djeluje kao elektronka sa zapornim poljem? *O.:* Ako uzbudna rešetka dobije velik pozitivni napon, a anoda negativni napon. — *P.:* Odakle potječe naziv »elektronka sa zapornim poljem«? *O.:* Odatle što negativna anoda nakon prolijetanja kroz pozitivnu uzbudnu rešetku elektrone zakoči i vraća natrag. — *P.:* Do kakvog osebujnog gibanja elektrona oko uzbudne rešetke dolazi kod elektronke sa zapornim poljem? *O.:* Elektroni se njišu oko uzbudne rešetke. Oni izvode »električki ples«. — *P.:* Što uslijed toga nastaje? *O.:* Nastaju vlastiti električki titraji u unutarnjosti elektronke. — *P.:* Kako se zovu ti titraji? *O.:* Barkhausen-Kurzovi titraji. — *P.:* O čemu ovisi dužina vala ovih titraja? *O.:* O dimenzijama rešetke i anode, zatim o rešetkinom i anodnom istosmjernom naponu. — *P.:* Kako se može izračunati dužina vlastitog vala u grubom približenju? *O.:* $\lambda \approx 1000 \cdot d_a/\sqrt{U_g}$, ako je d_a promjer anode, a U_g istosmjerni napon rešetke.

461. — Sam po sebi maleni stupanj iskoristivosti elektronskih titraja može se znatno povisiti *priključenjem sistema paralelnih žica (Lecherov sistem)*, koji se spaja na uzbudnu rešetku i anodu elektronke sa zapornim poljem. Obje paralelne žice L_1 i L_2 priključuju se, kao što je na sl. 332. prikazano, preko visokofrekventnih prigušnica *HFD* na pozitivni rešetkin napon U_g i negativni anodni napon U_a. Ugađanje sistema paralelnih žica na određenu dužinu vala izvodi se pomoću pomičnog mosta, koji je u ovom slučaju prekinut kondenzatorom C (na primjer dvije kružne ploče razdijeljene pločicom tinjca). Kondenzator C služi kao kapacitivni kratki spoj obiju paralelnih žica i omogućuje odijeljeno dovođenje istosmjernih napona U_g i U_a. Uslijed elektronskog titranja nastaju na uzbudnoj rešetki i na anodi visokofrekventne promjene napona, koje se dodaju istosmjernom naponu (vidi odsjek 462). Ovi izmjenični naponi mogu se rezonantnim djelovanjem slabo prigušenog sistema paralelnih žica znatno pojačati, ako je sistem paralelnih žica ugođen na frekvenciju elektronskih titraja.

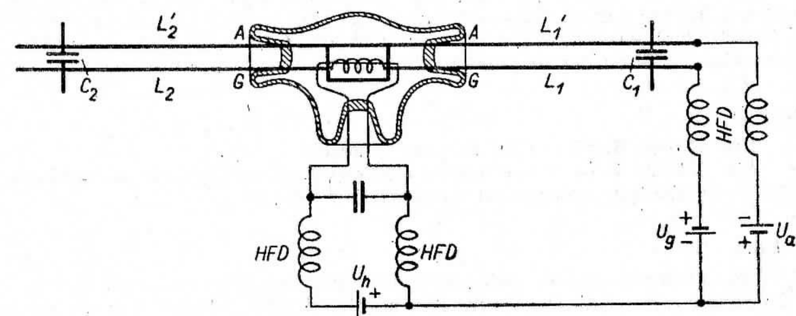
Ovdje dolazi još do *povratnog djelovanja* visokofrekventnog izmjeničnog napona na elektrone koji titraju, tako da se mijenja frekvencija i amplituda elektronskih titraja. Pri pomaku spojne žice često se frekvencija promijeni za polovicu oktave i odmah iza toga naglo skoči na svoju staru vrijednost. Prava *vlastita frekvencija* elektronskih titraja leži u sredini ovog frekventnog područja. U tom srednjem položaju spojne žice povratno djelovanje je najslabije, a odaslana izmjenična snaga najveća. Ostvarenje elektronskih titraja ne mijenja se, nasuprot ranijim nazorima, ugađanjem paralelnih žica. Promjena frekvencije, odnosno dužine vala, objašnjava se štaviše samo vezom elektronskih titraja i sistema paralelnih žica.



Sl. 332.

462. — Na jedno pitanje nismo još odgovorili: Koji *mehanizam* sređuje divlje vrludanje elektrona koji se još k tome međusobno odbijaju, u zajedničko elektronsko titranje? Ako se elektroni emitirani iz katode njišu na opisani način jednoliko oko uzbudne rešetke, onda se elektronsko titranje može očitovati samo u povećanom prostornom naboju. Odatle se još ne vidi, zbog čega bi uslijed toga morao nastati jedan cjelovit periodički proces, jer elektroni titraju sa svim mogućim međusobnim faznim pomacima, a da ni jedan momenat nije istaknut pred drugim. Da nastane vanjsko periodičko djelovanje, moraju elektroni u svom titranju prema vani biti tako sređeni, da u jednom smjeru titra više elektrona u jednoj fazi, nego u protivnoj fazi. U tom slučaju mogu na uzbudnoj rešetki, odnosno na anodi, nastati odgovarajući izmjenični naponi. Pod djelovanjem ovog izmjeničnog polja bit će s jedne strane elektroni jedne faze prisiljavani na sve jače titraje, to jest oni će trošiti energiju, dok će s druge strane elektroni protivne faze biti prisiljavani na slabije titranje (bit će kočeni), to jest oni će od sebe odavati energiju. Ako je potrebno da se u vanjskom sistemu paralelnih žica titraji podržavaju, onda se elektroni, koji titraju u krivoj fazi naime elektroni koji titraju u fazi s izmjeničnim naponom, moraju izlučiti jer ti elektroni, budući da troše energiju, smanjuju vanjsku izmjeničnu snagu. Ovaj proces nastupa sam od sebe ako anoda nema prevelik negativni napon. Elektroni koje izmjenični napon koči, dakle oni koji odaju energiju i koji titraju u ispravnoj fazi, ne dospijevaju do negativne anode. Oni učestvuju duže vremena u sređenom elektronskom titranju, dok se konačno ne spuste na uzbudnu rešetku i odanle odu u obliku rešetkine struje. Elektrone koji titraju u krivoj fazi i koji troše energiju prisiljava izmjenični napon na sve jače titranje. Konačno se oni sudaraju i odlaze u obliku anodne struje, te u procesu titranja više ne učestvuju. Vidimo dakle da će elektroni koji titraju u krivoj fazi biti stalno izlučivani. Taj se postupak naziva *anodnim izlučivanjem*. Uslijed razmjerno male brzine kojom elektroni udaraju o anodu, ugrijavanje anode je većinom neznatno. Uzbudna će se rešetka naprotiv uslijed jakog bombardiranja elektrona vrlo jako ugrijati, te je kod većih snaga potrebno s uzbudne rešetke odvoditi toplinu.

463. — Konačno je na sl. 333. prikazan *spoj elektronke sa zapornim poljem s dva sistema paralelnih žica*. Budući da je taj spoj građen simetrično, radi vrlo pouzdano. Ova je elekaronka za taj slučaj posebno građena. Na njoj su uzbudna rešetka G i anoda A izvedene spolja pomoću žica utaljenih s obje strane elektronke. Na te izvode priključeni su sistemi paralelnih žica (vidi odsjek 461). Sistem paralelnih žica L_1—L_1', koji treba imati što manje prigušenje, služi za ispravno namještanje čvorova i trbuha napona. Na mjestu gdje kondenzator C_1, odnosno C_2 čini kratak spoj nalazi se uvijek čvor napona i trbuh struje, a na četvrtini valne dužine od tog mjesta je trbuh napona i čvor struje, itd. Na



Sl. 333.

sistem paralelnih žica L_2—L_2' može se priključiti odašiljačka antena. Pomicanjem kondenzatora C_1—C_2 može se dužina vala mijenjati u odnosu 1 : 1,5. Spomenimo još jednom da su vlastita valna dužina i najveća izmjenična snaga određene samo elektronskim titranjem (usporedi odsjek 461). Upotrijebimo li na primjer elektronku RS 296 (Telefunken), kojoj dopuštena anodna snaga gubitka iznosi 80 W, bit će uz $U_g = 400$ V i $U_a = -50$ V, $\lambda = 50$ cm, visokofrekventna snaga 4 do 5 W uz stupanj iskoristivosti od nekih 5% (vidi odsjek 459).

Ponavljanje

Priključivanjem sistema paralelnih žica na uzbudnu rešetku i anodu znatno se povisuje stupanj iskoristivosti elektronskih titraja. Na postojanje elektronskih titraja ne utječe ugađanje sistema paralelnih žica, iako se uslijed povratnog djelovanja visokofrekventnog anodnog i rešetkinog napona u stanovitoj mjeri mijenja frekvencija i amplituda elektronskih titraja. Samouzbuđenje elektronskih titraja se osniva na pojavi anodnog izlučivanja elektrona, koji titraju u krivoj fazi, dakle elektrona na koje se troši energija. Ovi elektroni se na kraju spuštaju na anodu, odakle u obliku anodne struje otječu. Samo elektroni koji titraju u ispravnoj fazi učestvuju dulje vremena u elektronskom titranju, dok konačno ne padnu na rešetku i

s nje otječu u obliku rešetkine struje. Upoznali smo simetrično građenu elektronku sa zapornim poljem sa dva sistema paralelnih žica.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se tumači povišenje stupnja iskoristivosti kod elektronskog titrajanja, kad se na elektronku sa zapornim poljem priključi sistem paralelnih žica? *Odgovor:* Ugađanjem sistema paralelnih žica na frekvenciju elektronskih titraja dolazi do rezonantnog djelovanja između sistema paralelnih žica i anodnog, odnosno rešetkinog izmjeničnog napona, dakle do pojačanja ovih izmjeničnih napona. — *P.:* Vrši li ugađanje sistema paralelnih žica još kakav utjecaj na elektronsko titranje? *O.:* Na postojanje elektronskog titranja ne utječe ovo ugađanje, jedino dolazi u izvjesnim granicama do promjena frekvencije i amplituda elektronskih titraja. — *P.:* Koji mehanizam djeluje na elektrone koji titraju u svim mogućim fazama, da oni titraju jedinstveno? *O.:* Anodno izlučivanje. — *P.:* Koje se pojave pri tome događaju? *O.:* Elektroni koji titraju u krivoj fazi, dakle elektroni koji troše energiju, sjedaju konačno na anodu, dok elektroni koji titraju u ispravnoj fazi i koji energiju od sebe odaju, učestvuju u sređenom titranju oko uzbudne rešetke.

Pitanja

215. Što su Barkhausen-Kurzovi titraji?

216. Utječu li bitno elementi vanjskog spoja elektronke sa zapornim poljem na vlastitu frekvenciju elektronskih titraja?

Zadaci

146. Promjer anode elektronke sa zapornim poljem iznosi 8 mm, a promjer uzbudne rešetke 4 mm. Kolika je vlastita dužina vala i vlastita frekvencija elektronskih titraja, ako se radi s anodnim istosmjernim naponom uzbudne rešetke + 400 V?

147. Koji istosmjerni napon uzbudne rešetke mora imati elektronka sa zapornim poljem, ako je promjer anode 10 mm, da bi dužina vala bila otprilike 50 cm?

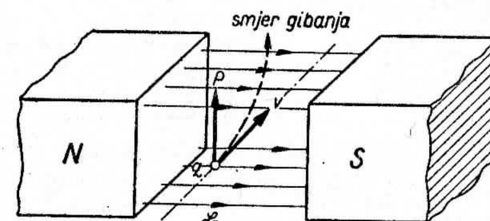
Način djelovanja elektronke s magnetskim poljem

464. — Danas se decimetarski valovi najuspješnije proizvode pomoću *elektronke s magnetskim poljem* (vidi odsjek 459). Na taj način mogu se postići ne samo najkraće dužine vala, nego i najbolji stupanj iskoristivosti[98]). Na usavršavanju elektronke s magnetskim poljem radilo se vrlo revno mnogo godina. U posljednje vrijeme uspjelo je ove elektronke bitno poboljšati. Elektronke s magnetskim poljem sastoje se u načelu od cilindrične anode, koja je često razdijeljena na dva, četiri ili šest dijelova, a u osi anode nalazi se žarna nit. U smjeru žarne niti djeluje izvana jako magnetsko polje *konstantne jakosti.* Pod utjecajem tog magnetskog polja ne giblju se više elektroni kao obično s katode (žarne niti) direktno na anodu, nego lete stanovitom brzinom u prostoru

[98]) Japanac Okabe je još g. 1929. dobio neprigušene titraje valnom dužinom oko 1 cm.

između katode i anode po zakrivljenim stazama. Vrijeme leta, odnosno njegov višekratnik, određuje frekvenciju vlastitih titraja u unutarnjosti elektronke s magnetskim poljem. Elektronka s magnetskim poljem ne smije se zamijeniti s *»magnetronom«* Amerikanca *Hulla,* jer magnetron radi s *promjenljivim* magnetskim poljem, koje djeluje na anodnu struju, dakle radi kao pojačalo bez rešetke. Magnetron ne služi za proizvođenje ultrakratkih valova! Budući da su za magnetsko uzbuđivanje anodne struje, kao što je kod magnetrona, potrebne velike uzbudne energije i uzbudni induktiviteti, ne može magnetron nadomjestiti običnu elektronku s uzbudnom rešetkom.

465. — Prije nego što se pobliže upoznamo s teorijom elektronke s magnetskim poljem moramo se pozabaviti s *djelovanjem magnetskog polja na elektron* koji se giblje. Svaki elektron u gibanju predstavlja pomični naboj, dakle elektronsku struju, tako da i ovdje vrijedi pravilo otklona kao i za vodič u magnetskom polju, kroz koji teče struja[99]). Prema tome na elektron koji miruje magnetsko polje ne djeluje. Sila otklanjanja $P = q \cdot v \cdot \mathfrak{B}/10$ [Dyn][100]), ako je naboj elektrona $q = 1{,}59 \cdot 10^{-19}$ u [C] (kulonima), v = brzina elektrona u [cm na sekundu], a $\mathfrak{B}$ = magnetska indukcija (broj linija na cm²) u [G] (gausima). Kao što je prikazano na sl. 334, bit će elektron u gibanju otklonjen okomito na linije magnetskog polja i okomito na smjer svog prvotnog leta (crtkana krivulja). Magnetsko polje *samo zakrivljuje stazu leta elektrona, a nikako ne djeluje na njegovu brzinu.* To je jasno bez daljnjega, jer magnetsko polje može potjecati na primjer i od stalnog magneta, koji trajnoj struji elektrona ne može odavati neku trajnu radnju. Elektroni će u magnetskom polju biti to jače otklonjeni, što je manja njihova brzina. U jakom magnetskom polju mogu staze elektrona biti potpuno savijene, tako da na primjer neki elektron emitiran iz katode uslijed magnetskog polja žarne niti uopće ne dođe do anode, nego se ponovno vrati na katodu. Ovdje treba još napomenuti da se kod indirektno žarenih elektronki magnetsko polje žarne niti poništava bifilarnim namatanjem (vidi dio I, odsjeke 254 i 255).



Sl. 334.

[99]) Ovdje vrijedi poznato pravilo lijeve ruke. Otklon vodiča kroz koji protječe struja okomit je na linije magnetskog polja.

[100]) 1 Dyn = 1 g/981 = 1,02 mg. To je jedinica za silu u apsolutnom (fizikalnom) sistemu mjera.

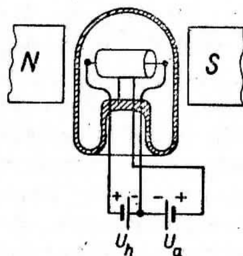
466. — Ako elektron leti j e d n o l i k o m brzinom kroz j e d n o l i k o (homogeno) magnetsko polje, onda će on opisivati *kružni luk*, kojemu se radijus zakrivljenja ϱ može izračunati prema jednadžbi:

$$\boxed{\varrho = \frac{3{,}36\,\sqrt{U_a}}{\mathfrak{B}}\ [\mathrm{cm}]} \quad \ldots\ldots \quad (84)$$

Ovdje je U_a onaj pad napona, kroz koji elektron proleti (anodni istosmjerni napon), u [V]. Elektroni opisuju kružni put samo onda, ako magnetske linije stoje okomito na smjer brzine. Inače (kad je magnetsko polje koso) ne lete elektroni po zatvorenoj kružnoj stazi, nego po stazi u obliku *vijčane spirale* oko magnetskih linija. Što je m a n j i istosmjerni napon U_a potreban za stvaranje brzine elektrona i što je v e ć a magnetska indukcija $\mathfrak{B}$, to je prema jednadžbi (84) m a n j i radijus zakrivljenja kružnog luka. Ako je na primjer $U_a = 1$ V, onda će se već u magnetskom polju z e m l j i n o g m a g n e t i z m a sa $\mathfrak{B} = 0{,}45$ G kod smjera polja okomitog na brzinu elektrona dobiti kružna staza radijusa $\varrho = 3{,}36 \cdot 1/0{,}45 = 7{,}5$ cm, dok se u magnetskom polju sa $\mathfrak{B} = 100$ G dobiva radijus $\varrho = 0{,}0336$ cm $\approx 1/3$ mm. Za *vrijeme oblijetanja* elektrona T, dakle za vrijeme jedne cijele periode, dobiva se na temelju gornjih izvoda: $T = 2\pi\varrho/v$ ili:

$$\boxed{T = \frac{0{,}355 \cdot 10^{-6}}{\mathfrak{B}}\ [\mathrm{s}]} \quad \ldots\ldots \quad (85)$$

Vrijeme oblijetanja ovisi dakle samo o magnetskoj indukciji $\mathfrak{B}$, a nikako o brzini elektrona v. Za magnetsko polje zemljinog magnetizma dobivamo dakle kao vrijeme oblijetanja $T = 0{,}355 \cdot 10^{-6}/0{,}45$ s $= 0{,}79 \cdot 10^{-6} = 0{,}79$ μs, što znači da će frekvencija oblijetanja biti jednaka: $f = 1/T = 1/(0{,}79 \cdot 10^{-6}) = 1{,}27 \cdot 10^6$ Hz $= 1{,}27$ MHz.



Sl. 335.

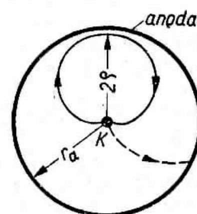
467. — Nakon ovih razmatranja možemo prijeći na način rada elektronki s magnetskim poljem. Promatrajmo elektronku s cilindričnom anodom, u kojoj se u osi nalazi ravna žarna nit — katoda (sl. 335). Između polnih nastavaka N i S elektromagneta postoji jednoliko magnetsko polje, koje ima smjer osi anode. Pod utjecajem ovog magnetskog polja giblju se elektroni (koji bi se inače, da nema magnetskog polja, kretali radijalno prema anodi), približno po kružnim stazama s radijusom zakrivljenja prema jednadžbi (84). Svi elektroni lete po *srcolikoj* krivulji (kardioidi[101]) i nakon

[101]) Staza nije posve kružna, budući da glavni dio anodnog istosmjernog napona uslijed logaritmičke razdiobe napona unutar elektronke leži u blizini katode.

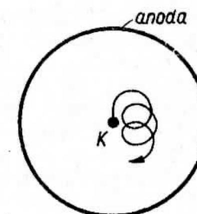
jednog oblijetanja dolaze natrag na katodu K, što znači da oni stalno izvode neko kružno gibanje (sl. 336.). Anodna struja je u tom slučaju jednaka nuli, jer na anodu ne dolazi ni jedan elektron. Ovaj slučaj vrijedi uz pretpostavku da je magnetska indukcija $\mathfrak{B}$ dovoljno velika. Označuje li r_a radijus anode, očito mora 2ϱ da bude manje od r_a, dakle prema jedn. (84): $6{,}72 \cdot \sqrt{U_a}/\mathfrak{B} < r_a$, to jest:

$$\boxed{\mathfrak{B} > \frac{6{,}72 \cdot \sqrt{U_a}}{r_a}\ [\mathrm{G}]} \quad \ldots\ldots \quad (86)$$

gdje se r_a uvrštava u [cm]. Ako je vanjsko magnetsko polje preslabo, gibat će se svi elektroni na primjer po crtkanoj krivulji na sl. 336. prema anodi. Anodna struja će tada porasti na svoju punu vrijednost i ovu će zadržati ako se magnetsko polje još oslabi. S druge strane opisuju elektroni u elektronki s magnetskim poljem, ako je magnetska indukcija mnogo veća, nego u jedn. (86), putove s mnogo manjim radijusom zakrivljena, te se na katodu vraćaju tek nakon opisivanja v i š e zatvorenih petlji (sl. 337). Ova se pojava objašnjava time, što uslijed višekratnog oblijetanja elektrona nastaju u blizini katode jaki prostorni naboji (zastoj elektrona). *Vrijeme jednog oblijetanja* je kod *simetrične* gradnje i *cilindrične* anode oko 1,23 puta veće nego kod čiste kružne staze, tako da prema jednadžbi (85) za frekvenciju oblijetanja imamo: $f = 1/T = \mathfrak{B}/(1{,}23 \cdot 0{,}355 \cdot 10^{-6}) = 2{,}29 \cdot 10^6\,\mathfrak{B}$ [Hz] i prema dijelu I, jedn. (64) za odgovarajuću *valnu dužinu* $\lambda = c/f = 3 \cdot 10^{10}/(2{,}29 \cdot 10^6 \cdot \mathfrak{B})$ ili:



Sl. 336.



Sl. 337.

$$\boxed{\lambda = \frac{13\,000}{\mathfrak{B}}\ [\mathrm{cm}]} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (87)$$

Vidimo dakle da je valna dužina kod ovih titraja elektrona to m a n j a, što je v e ć a magnetska indukcija $\mathfrak{B}$. Anodni istosmjerni napon i dimenzije elektronke s magnetskim poljem praktički nikako ne utječu na dužinu vala. Konačno dolazimo do toga da elektroni izvode *elektronske titraje*, slično kao i u elektronki sa zapornim poljem, čime se dobivaju vlastiti titraji s vrlo malenom dužinom vala.

Ponavljanje

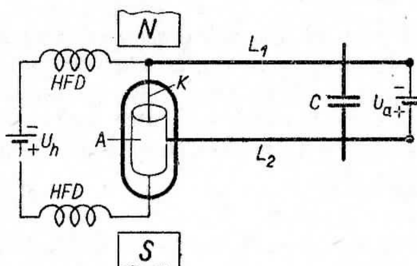
E l e k t r o n k a s m a g n e t s k i m p o l j e m sastoji se uglavnom od cilindrične anode, kojoj se u osi nalazi žarna nit. U smjeru žarne niti djeluje izvana jako k o n s t a n t n o homogeno polje. Kod m a g n e t r o n a radi se s p r o m j e n l j i v i m magnetskih poljem, koje uzbuđuje anodnu struju. Magnetron nije generator ultrakratkih valova. Pod

utjecajem jednolikog (homogenog) magnetskog polja kreću se elektroni, koji bi inače letjeli radijalno prema anodi, po kružnim stazama, pri čemu brzina elektrona ostaje nepromijenjena. Radijus zakrivljenja staze elektrona proporcionalan je kvadratnom korijenu anodnog istosmjernog napona i obrnuto proporcionalan magnetskoj indukciji. Ovdje je pretpostavljeno da je magnetska indukcija $\mathfrak{B} > 6{,}72\,\sqrt{U_a}/r_a$ [G], gdje je r_a radijus anode u [cm]. Vrijeme oblijetanja elektrona je to manje, što je veća magnetska indukcija. U magnetskom polju s indukcijom, koja je mnogo veća od ove označene, vratit će se elektroni tek nakon više obleta na katodu i pri tome opisivati staze u obliku vijka (spirale). U elektronki s magnetskim poljem dolazi do elektronskog titranja. Valna dužina tako nastalih vlastitih titraja je $\lambda = 13\,000/\mathfrak{B}$ [cm], to jest o anodnom naponu i o dimenzijama elektronke praktički nije ovisna.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako je građena elektronka s magnetskim poljem? *Odgovor:* Elektronka s magnetskim poljem sastoji se u najjednostavnijem slučaju od cilindrične anode, u osi koje se nalazi žarna nit. U smjeru žarne niti djeluje izvana jako konstantno magnetsko polje. — *P.:* Koja je razlika između elektronke s magnetskim poljem i magnetrona? *O.:* Kod magnetrona se radi s promjenljivim magnetskim poljem koje uzbuđuje anodnu struju, to jest magnetron djeluje kao pojačalo bez rešetke. — *P.:* Kakav utjecaj vrši magnetsko polje na elektron u gibanju? *O.:* Elektron se otklanja okomito na linije magnetskog polja i okomito na prvobitan smjer svog gibanja. — *P.:* Kako se pri tome mijenja brzina elektrona? *O.:* Uopće se ne mijenja. — *P.:* Kakve staze opisuje elektron u jednolikom magnetskom polju? *O.:* Kružne staze, ukoliko silnice stoje okomito na smjer gibanja elektrona. — *P.:* O čemu ovisi radijus zakrivljenja kružne staze elektrona? *O.:* O kvadratnom korijenu anodnog istosmjernog napona i o magnetskoj indukciji. — *P.:* Kakve staze opisuje elektron u elektronki s magnetskim poljem? *O.:* Ako je magnetska indukcija dovoljno velika, elektron se kreće po krivulji zvanoj kardioida. — *P.:* Kolika je minimalna potrebna indukcija? *O.:* Indukcija treba da je veća od $6{,}72 \cdot \sqrt{U_a}/r_a$ [G]. — *P.:* U čemu se elektroni u elektronki s magnetskim poljem ponašaju slično kao u elektronki sa zapornim poljem? *O.:* Elektroni u elektronki s magnetskim poljem izvode elektronsko titranje. — *P.:* Kolika je dužina vala tako potaknutih vlastitih titraja? *O.:* $\lambda \approx 13\,000/\mathfrak{B}$ [cm].

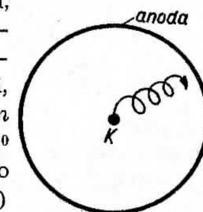
468. — Elektroni koji kruže unutar elektronke s magnetskim poljem mogu samo tada proizvesti periodičko djelovanje prema van, ako izvode zajedničke titraje. Samo u tom slučaju bit će elektronskim titrajima uzbuđeni vanjski visokofrekventni titraji, za koje se dužina vala može izračunati po jednadžbi (87). Međusobni odnosi u principu su ovdje isti kao i kod elektronke sa zapornim poljem, dakle kao i kod Barkhausen-Kurzovih titraja. Za *mehanizam za samouzbuđenje* može se i kod elektronke



Sl. 338.

s magnetskim poljem smatrati *anodno izlučivanje* (vidi odsjek 462). Proizvedeni izmjenični naponi djeluju povratno na elektrone u titranju i uzrokuju sređeno elektronsko titranje. Elektroni koje izmjenični napon prisiljava da titraju u krivoj fazi, troše energiju. Oni titraju sve jače i konačno se spuštaju na anodu, te u procesu titranja više ne učestvuju. Elektroni koji titraju u ispravnoj fazi lete po više puta naokolo, pri čemu bivaju kočeni te odaju energiju titranja.

469. — *Priključenjem sistema paralelnih žica (Lecherovog sistema)* može se stupanj iskoristivosti elektronskog titranja znatno povisiti kao i kod Barkhausen-Kurzovih titraja (vidi odsjek 461). Spoj se može izvesti prema sl. 338, gdje je sistem paralelnih žica L_1—L_2, a time i visokofrekventni izmjenični napon, spojen između katode i anode (usporedi sl. 332 i 333). Ako se pomoću spojke mijenja ugađanje sistema paralelnih žica, onda uslijed povratnog djelovanja visokofrekventnog napona na elektrone koji titraju dolazi do promjene dužine vala, odnosno skokova vala, kako je to već opisano u odsjeku 461. U međupoložajima spojke bit će izmjenična snaga najveća, jer će tada vanjski krug paralelnih žica biti u rezonanciji s osnovnim valom ili s nadvalovima elektronskih titraja. Daljnje poboljšanje stupnja iskoristivosti, odnosno pojačanje samouzbuđenja, postizava se *kosim položajem magnetskog polja* pod kutom od 5^0 do 10^0 prema smjeru žarne niti. Elektroni se tada kreću po *spirali* oko magnetskih linija (vidi odsjeke 466 i sl. 339) dolazeći pri tome bliže anodi. Tako nastaju povoljniji uvjeti za anodno izlučivanje, za što je sada dovoljan već sasvim malen anodni izmjenični napon. Cijeli mehanizam samouzbuđenja je ipak u pojedinostima manje pregledan i nije još potpuno objašnjen.

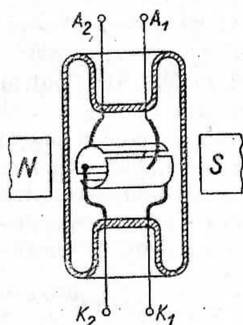


Sl. 339.

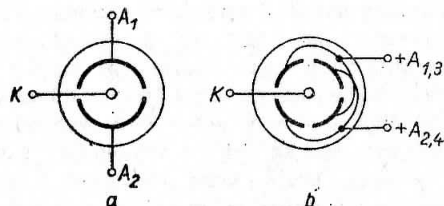
470. — S elektronkama s magnetskim poljem, koje smo dosada opisali, ne može se postići veći stupanj iskoristivosti, kao ni kod elektronki sa zapornim poljem. Upotrebom *elektronke s magnetskim poljem s razrezanom anodom* izmjenična je snaga, kao i stupanj iskoristivosti, znatno veća.[102] Ove se elektronke prema svom pronalazaču nazivaju *Habannovim elektronkama.* Anoda ovdje nije od punog cilindra, nego je podijeljena na dva ili više segmenta, koji su unutar elektronke vezani na parove (sl. 340 i 341). Prednost ovog rasporeda između ostaloga je i ta da katoda ne leži na visokofrekventnom potencijalu, a štetni kapaciteti su uslijed odvojenih izvoda segmenata na gornjem kraju staklenog balona smanjeni. Na sl. 342. vidimo spoj elektronke s magnetskim poljem sa dvodjelnom anodom *(Habannov generator).* Obje anode A_1 i A_2 dobivaju preko titrajnog kruga L—C jednak anodni istosmjerni napon U_a. Ako je

[102] Ove se elektronke katkada označuju kao magnetroni s razrezanim anodama.

magnetsko polje dovoljno jako (vidi jedn. 86), gibat će se elektroni, dok nema titranja, po stazi koja ima oblik **k a r d i o i d e** (vidi sl. 336). Budući da se svi elektroni vraćaju na katodu, anodna struja jednaka je nuli. Ako sada na segmentima anode poticajem procesa titranja nastanu visokofrekventni izmjenični naponi, onda će se između segmenta stvoriti *poprečno polje* kojemu je jakost jednaka anodnom izmjeničnom naponu $2\,\mathfrak{U}_a$ koji vlada na zavojnici *L*. Kardioidna staza elektrona razvući će se u *spiralu* okomito na poprečno polje (slično kao na sl. 339), tako da će elektroni konačno sletjeti na anodu, koja ima m a n j i ukupni napon. Anodna struja dotičnog segmenta je to v e ć a, što je m a n j i njegov momentani napon,



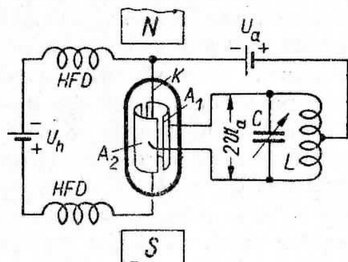
Sl. 340.



Sl. 341.

odnosno što je v e ć a razlika napona (poprečno polje) između oba segmenta. Iz toga, što anodna struja r a s t e ako anodni napon p a d a, slijedi da između segmenata postoji *negativni otpor*. Zbog toga može na poznati način doći do samouzbuđenja titrajnih krugova (vidi odsjek 176). Elektronka s magnetskim poljem djeluje kao dvije u protufazi spojene elektronke.

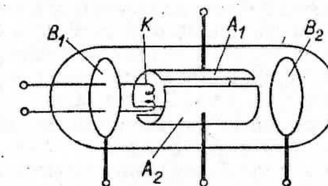
471. — U ovim razmatranjima se radilo o titrajima tako niske frekvencije, da vrijeme putovanja elektrona nije imalo nikakav utjecaj na proces titranja. Ovi takozvani *Habannovi titraji* idu do područja metarskih valova i nemaju s elektronskim titrajima ništa zajedničko. Za proizvođenje ultrakratkih titraja zamijenit ćemo titrajni krug $L - C$ na na sl. 342. sistemom paralelnih žica s jednostavnom žičnom spojkom, koja je priključena na $+U_a$. U *području decimetarskih valova* dolazi vrijeme putovanja elektrona u red veličine trajanja titraja. Zato dolazi do p o v r a t n o g d j e l o v a n j a sistema paralelnih žica na elektronske titraje. Ako se segmenti anode nalaze u trbuhu napona sistema paralelnih žica, bit će ta povratna veza m a g n e t s k e naravi. Anodni segmenti djeluju naime kao



Sl. 342.

strujne petlje, od kojih nastaje magnetsko polje, koje ima isti smjer, kao i vanjsko magnetsko polje, te ga naizmjence u ritmu visoke frekvencije pojačava ili slabi. Ako oba segmenta leže u t r b u h u n a p o n a sistema paralelnih žica doći će do e l e k t r i č k o g povratnog djelovanja. Budući da su titraji na segmentima protufazni, stvorit će se između njih visokofrekventno električko polje. Mehanizam samouzbuđivanja sastoji se u ovom slučaju u izlučivanju elektrona koji troše energiju. Procesi do kojih pri tome dolazi prilično su zamršeni zbog protufaznosti obaju izmjeničnih napona.

472. — U običnim elektronkama s magnetskim poljem s razrezanom anodom dolazi kod velikih izmjeničnih snaga često do *efekta naknadnog žarenja (povratnog žarenja katode)*. Ova je pojava uzrokovana time, što se elektroni na katodu vraćaju vrlo velikom brzinom, te je mogu kao eksplozijom uništiti. Da do toga ne dođe, građene su elektronke s magnetskim poljem tako da se katoda ne nalazi u unutarnjosti, nego s jedne strane otvorenog anodnog cilindra (sl. 343), te elektroni u anodni cilindar ulaze sa s t r a n e. A_1 i A_2 su anodni segmenti, *K* je katoda (žarna nit), a B_1 i B_2 su uzemljeni zaštitni limovi, koji štite staklene stijene elektronke od bombardiranja elektrona. S takvim elektronkama mogu se proizvesti decimetarski valovi snage do 400 W.



Sl. 343.

473. — Što se tiče *modulacije decimetarskih valova* treba ukratko ukazati na slijedeće: Kod odašiljača decimetarskih valova koji rade s p o v r a t n o m v e z o m (vidi odsjek 459) može se moduliranje izvršiti na isti način kao i kod odašiljača za duže valove (vidi odsjeke 398 do 406). U elektronkama s m a g n e t s k i m i z a p o r n i m p o l j e m moduliranje je mnogo teže provedivo, jer modulacioni izmjenični naponi uzrokuju jake promjene pogonskih uslova, tako da uobičajeni načini moduliranja otpadaju. Za moduliranje elektronke s magnetskim poljem može se npr. upotrijebiti u odsjeku 472. opisana elektronka s magnetskim poljem s postranom katodom. Moduliranje se pri tome izvodi pomoću zaštitnih limova B_1 i B_2 (usporedi sl. 343). Moguće je nadalje visokofrekventne titraje proizvedene u odašiljaču za decimetarske valove modulirati i z v a n samog odašiljača, na primjer djelovanjem na sistem paralelnih žica, koji vodi do odašiljačke antene. U ovom se postupku može u sistem paralelnih žica uključiti posebno građena tinjalica, u kojoj se otpor mijenja s moduliranjem. Visokofrekventna energija prigodom svog prolaza kroz tinjalicu bit će prema jakosti tinjavog ispražnjivanja različito prigušena. S takvim uređajem postignut je kod valne dužine od 64 cm stupanj modulacije od 60% s modulacijskim naponom od 6 V, ili kod valne dužine od 12,8 cm stupanj modulacije od 50% s modulacijskim naponom od 12 V. Umjesto tinjalice može se upotrijebiti elektronka s visokim vakuumom, no u tom se slučaju dovoljno velik stupanj iskoristi-

vosti dobiva tek iznad valne dužine od 50 cm (na primjer stupanj modulacije 50% na valnoj dužini 94 cm). Ako se u sistemu paralelnih žica umjesto tinjalice upotrijebi neki kapacitivni otpor (kondenzator), koji se mijenja s modulacionim naponom, bit će utrošak energije za moduliranje vrlo malen. Na taj se način može postići stupanj moduliranja do 30%. Ovaj kratki prikaz će nas zadovoljiti, jer je razvoj postupka moduliranja još u punom toku.

Ponavljanje

Za mehanizam samouzbuđivanja može biti i u elektronki s magnetskim polje uzeta pojava anodnog izlučivanja elektrona. Priključenjem sistema paralelnih žica i kosim postavljanjem magnetskog polja može se stupanj iskoristivosti kod magnetskih elektronskih titraja i kod Barkhausen-Kurzovih titraja znatno povisiti. Najbolji stupanj iskoristivosti postizava se s elektronkama s magnetskim poljem s razrezanim anodama (Habannove elektrike). U pogonskom stanju nastaje između anodnih segmenata poprečno polje, tako da elektroni opisuju spiralne staze i padaju na onaj segment, koji toga trenutka ima manji ukupni napon. Pri tome između oba anodna segmenta vlada negativni otpor, koji može služiti za samouzbuđenje titrajnih krugova. Tako nastali takozvani Habannovi titraji nemaju ništa zajedničko s elektronskim titrajima. U području decimetarskih valova dolazi vrijeme putovanja elektrona u red veličine trajanja titraja. Zato dolazi do povratnog djelovanja sistema paralelnih žica na magnetske elektronske titraje i do anodnog izlučivanja elektrona, koji troše energiju. Pri velikim izmjeničnim snagama može katoda elektronke s magnetskim poljem i s razdjeljenom anodom biti lako razorena uslijed efekta naknadnog žarenja (povratnog žarenja katode). To se sprečava postranim smještanjem katode. Ako se decimetarski valovi proizvode pomoću povratne veze, može se njihovo moduliranje izvesti na isti način kao i kod dužih valova. Kod elektronki s magnetskim i zapornim poljem moduliranje se vrši na drugi način.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Kako se uzbuđuje elektronka s magnetskim poljem? *Odgovor:* Anodnim izlučivanjem izlučuju se elektroni, koji titraju u pogrešnoj fazi i koje izmjenični napon potiče na titranje, te uslijed toga troše energiju; u magnetskom elektronskom titranju učestvuju samo oni elektroni, koji titraju u ispravnoj fazi, te odaju energiju. — *P.:* Kako se može povisiti stupanj iskoristivosti obične elektronke s magnetskim poljem? *O.:* Priključenjem sistema paralelnih žica i kosim postavljanjem magnetskog polja. — *P.:* Koje elektronke s magnetskim poljem daju najbolji stupanj iskoristivosti? *O.:* Elektronke s magnetskim poljem s razrezanim anodama. — *P.:* Kako se još te elektronke nazivaju? *O.:* Habannove elektronke ili magnetroni s razdijeljenim anodama. — *P.:* Kakvo djelovanje ima razrezivanje anodong cilindra? *O.:* Između segmenta anode stvara se u pogonskom stanju poprečno polje, koje elektronsku stazu razvlači u spiralu. — *P.:* Kamo uglavnom lete elektroni? *O.:* Prema onom anodnom segmentu, koji ima manji ukupni napon. — *P.:* Što iz toga slijedi s obzirom na anodnu struju? *O.:* Jakost anodne struje rast će, ako anodni napon pada. — *P.:* Što iz toga slijedi? *O.:* Između anodnih segmenata stvara se negativan otpor, koji može služiti za samouzbuđenje titrajnih krugova. — *P.:* Kako se nazivaju titraji koji se na ovaj način proizvode u elektronki s magnetskim poljem? *O.:* Habannovi titraji. — *P.:* Radi li se ovdje o elektronskim titrajima? *O.:* Ne. — *P.:* Kada ovi nastaju? *O.:* Ako je vrijeme putovanja elektrona u redu veličine trajanja vlastitog titranja. — *P.:* Kakav utjecaj vrši priključenje sistema paralelnih žica? *O.:* Sistem paralelnih žica djeluje povratno električki ili magnetski na elektronske titraje, te dolazi do anodnog izlučivanja elektrona, koji troše energiju. — *P.:* Koja opasnost postoji kod elektronke s magnetskim poljem s razrezanom anodom, ako se radi o većim izmjeničnim snagama? *O.:* Bombardiranje elektrona može razoriti katodu. — *P.:* Kako se ta pojava naziva? *O.:* Efekt naknadnog žarenja ili povratno žarenje katode. — *P.:* Kako se to može spriječiti? *O.:* Postranim smještajem katode. — *P.:* Mogu li se decimetarski valovi isto tako modulirati kao i duži valovi? *O.:* Samo onda, ako je za proizvođenje decimetarskih valova primijenjena povratna veza. — *P.:* Zašto moduliranje elektronke s magnetskim i zapornim poljem predstavlja poteškoće? *O.:* Zato što se pogonski uvjeti ovih elektronki mijenjaju uslijed naponskih promjena uzrokovanih modulacijskim naponima.

Pitanja

217. Kakav utjecaj vrše vrlo jaka magnetska polja na staze elektrona u elektronki s magnetskim poljem?

218. Kako ovisi frekvencija magnetskih elektronskih titraja o magnetskoj indukciji?

219. Kakva je razlika između nastajanja Habannovih titraja i magnetskih elektronskih titraja u elektronki s magnetskim poljem s razdijeljenom anodom?

Zadaci

148. Elektronka s magnetskim poljem radi s anodnim istosmjernim naponom od 2,2 kV i s magnetskom indukcijom od 260 G: a) Kolika je valna dužina proizvedenih titraja? b) Koliki je radijus zakrivljenja staze elektrona?

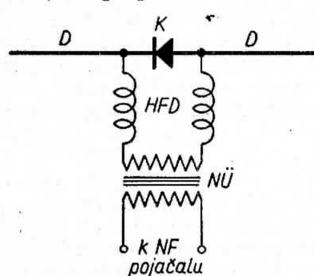
149. Kako velik treba da je odnos radijusa anode prema dužini vlastitog vala elektronke s magnetskim poljem, koja radi s anodnim istosmjernim naponom od 500 V?

Primanje decimetarskih valova

474. — Za primanje decimetarskih valova mogu se u principu upotrijebiti svi spojevi poznati u običnoj prijemnoj tehnici. Zbog vrlo visoke frekvencije koja se prima smanjuju se uobičajene zavojnice za ugađanje na kratke spojnice, dok kapaciteti elektronke služe kao kapaciteti za ugađanje (vidi odsjek 436). No i sistem paralelnih žica (Lecherov sistem) mnogo se upotrebljava kao krug ugađanja. Za prijemne antene za decimetarske valove dolaze u obzir uglavnom izvedbe decimetarskih odašiljačkih antena (vidi odsjek 458). Ako je jakost primanog polja dovoljno velika, za prijem i modulaciju dostaje i običan *kristalni detektor*[103]) (sl. 344). Kristalni detektor *K* nalazi se simetrično u prijem-

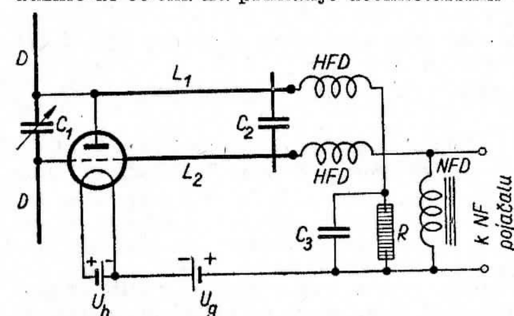
[103]) Umjesto kristalnog detektora može se upotrijebiti dioda.

nom polju D — D. Demodulirani naponi dovode se preko visokofrekventnih prigušnica HFD i niskofrekventnog transformatora NÜ običnom niskofrekventnom pojačalu. Ovaj spoj, koji daje dobre rezultate i u području metarskih valova, vrlo je jednostavan, ali na žalost nesiguran u pogonu.

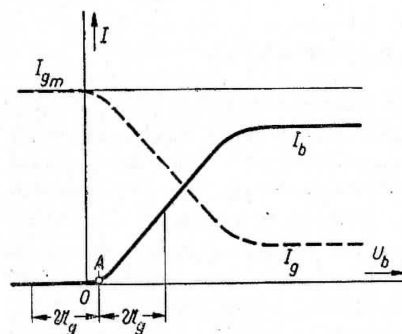


Sl. 344.

475. — Najjednostavniji spoj elektronke za primanje decimetarskih valova dobiva se pomoću *audiona s reakcijom*. Audionska elektronka mora da bude tako malena da induktivitet dovoda i kapaciteti elektronke ne smetaju nastajanju znatnijih izmjeničnih napona na uzbudnoj rešetki i na anodi. Sa žir-elektronkama ili dugme-elektronkama spomenutim u odsjeku 459. mogu se dobiti valne dužine do 30 cm. Za primanje decimetarskih valova nadalje dolaze u obzir *prijemnici sa superregeneracijom* (vidi odsjeke 451 i 455) i *superprijemnici*. Ima i takvih prijemnika u kojima su primijenjene *elektronke sa zapornim ili s magnetskim poljem*. Sl. 345. prikazuje *elektronke sa zapornim poljem*. Ultrakratki titraji primaju se dipolom D—D, koji se na primanu frekvenciju može ugoditi promjenljivim kondenzatorom C_1. Na elektronku je priključen sistem paralelnih žica L_1—L_2, koje su kratko spojene pomoću kondenzatora C_2 (usporedi sl. 332 do 334). Pogonski istosmjerni naponi dovode se preko visokofrekventnih prigušnica HFD i niskofrekventne prigušnice NFD, odnosno preko visokoomskog otpora R, koji je premošten kondenzatorom C_3. Djelovanje elektronke sa zapornim poljem kao d e m o d u l a t o r o m objašnjava se na ovaj način: Ima li anoda (zaporna elektroda) prema katodi n e g a t i v n i istosmjerni napon U_b, ona će elektrone koji lete kroz p o z i t i v n u uzbudnu rešetku zakočiti i prisiliti da se vrate prema uzbudnoj rešetki. Rešetkina istosmjerna struja imat će tada svoju najveću vrijednost I_{gm}, koja je jednaka ukupnoj elektronskoj struji (sl. 346). Dobiva li anoda postepeno p o z i t i v n i istosmjerni napon,



Sl. 345.



Sl. 346.

dolazit će sve više elektrona na nju. Anodna istosmjerna struja (zaporna struja) I_b raste, dok istosmjerna struja rešetke I_g za isti iznos opada. Konačno kod stanovitog anodnog istosmjernog napona od nekoliko volta svi elektroni, koji prolete kroz uzbudnu rešetku, prispijevaju na anodu i anodna istosmjerna struja postiže svoju maksimalnu vrijednost (struju zasićenja). Istosmjerna struja rešetke past će pri tome na svoju najmanju vrijednost. Krivulja U_b—I_b je zrcalna slika krivulje U_b—I_g, to jest anodna struja regulira rešetkinu struju. Ova razmatranja vrijede samo onda, ako katoda daje svoju najveću emisiju (struju zasićenja). Ako elektronka sa zapornim poljem treba da radi samo kao detektor prijemnika, mora se radna tačka A odabrati u donjem dijelu U_b—I_b krivulje. To se može postići prikladnim izborom anodnog istosmjernog napona. U spoju audiona sa zapornim poljem prikazanom na sl. 345, ispravni istosmjerni anodni napon n a m j e š t a s e a u t o m a t s k i padom napona uslijed anodne istosmjerne struje na ispravno dimenzioniranom visokoomskom otporu R. Ovdje se ne mogu dati tačni brojčani podaci, jer ti ovise o podacima upotrijebljene elektronke. Niskofrekventni modulacioni naponi odvode se s niskofrekventne prigušnice NFD običnom niskofrekventnom pojačalu, gdje se dalje pojačavaju.

Ponavljanje

Ako je na mjestu prijema polje dovoljno jako, može se za demodulaciju decimetarskih valova upotrijebiti *kristalni detektor*. No takav demodulator radi vrlo nesigurno. Bolji se uspjesi mogu postići s *reakcionim audionom*, ako se upotrijebe osobito malene žir-elektronke ili dugme-elektronke. Za primanje decimetarskih valova može se još upotrijebiti *prijemnik sa superregeneracijom i superprijemnik*. Kod *audiona sa zapornim poljem* demodulacija se vrši pomoću triode, koja radi kao elektronka sa zapornim poljem. Za ugođeni krug služi ovdje sistem paralelnih žica. Ako je potrebno da elektronka sa zapornim poljem radi kao demodulator, mora se radna tačka postaviti na donje koljeno U_b—I_b-krivulje. Uz ispravan izbor anodnog istosmjernog napona anodna istosmjerna struja je zrcalna slika istosmjerne struje, koja teče preko pozitivne uzbudne rešetke.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Što je karakteristično za ugodive krugove prijemnika za decimetarske valove? *Odgovor:* Zavojnice za ugađanje grade se od kratkih žica u obliku luka, a kao kapaciteti za ugađanje služe prirodni kapaciteti elektronke. — *P.:* Koji oblik krugova za ugađanje ima prednost u prijemnicima za decimetarske valove? *O.:* Sistem paralelnih žica (Lecherov sistem). — *P.:* Koji je spoj prijemnika za decimetarske valove najjednostavniji? *O.:* Kristalni detektor. — *P.:* Koji je spoj elektronke za primanje decimetarskih valova najjednostavniji? *O.:* Audion s povratnom vezom. — *P.:* Do kojih valnih dužina daje audion s povratnom vezom još upotrebljive rezultate? *O.:* Do valne dužine od 30 cm u slučaju da su upotrebljene malene žir-elektronke ili dugme-elektronke. — *P.:* Koji još inače uobičajeni spojevi dolaze u obzir za prijemnike za decimetarske valova? *O.:* Prijemnik sa superregeneracijom i s transponiranjem. — *P.:* Što je audion sa zapornim poljem? *O.:* To je elektronka sa zapornim poljem kao demodulator. — *P.:* Kako se mora odabrati radna tačka elektronke sa zapornim poljem? *O.:* Na donjem koljenu U_b—I_b-karakte-

ristike. — *P.:* Kakvog je oblika ta krivulja? *O.:* Kod pozitivnog istosmjernog anodnog napona raste anodna struja u početku po krivulji, a zatim pravocrtno, dok se konačno ne savije na vrijednost zasićenja. — *P.:* Kakva je U_b—I_g-karakteristika elektronke sa zapornim poljem? *O.:* Ona je zrcalna slika U_b—I_b-krivulje. — *P.:* Kako se u audionu sa zapornim poljem dobiva ispravan anodni istosmjerni napon? *O.:* Automatski, pomoću prikladno odabranog visokoomskog otpora.

Glavna područja primjene decimetarskih valova

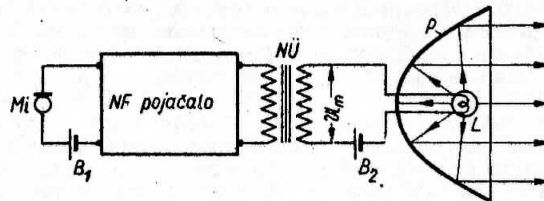
476. — Naročita prednost decimetarskih valova je u tome, što se mogu o š t r o u s m j e r i v a t i. Već smo u odsjeku 458. ukazali na to da se usmjereno isijavanje decimetarskih valova može usporediti s optičkim isijavanjem pomoću reflektora. Budući da decimetarski valovi, nasuprot valovima vidljivog svjetla, prodiru nesmetano i kroz maglu, te su praktički neovisni o nevremenu, upotrebljavaju se za *osiguranje zračnog i pomorskog prometa,* isto kao i metarski valovi (vidi odsjek 456). Pri *usmjerivanju* imamo tu osobitu prednost da oštro usmjerenim decimetarskim valovima u jednom smjeru ne smetaju oštro usmjereni valovi s drugog mjesta u nekom drugom smjeru, makar ovi imali istu dužinu vala kao oni prvi. Nadalje se decimetarski valovi mogu upotrijebiti za tačno *mjerenje visina* u avionu (radiolot). Na taj se način može izmjeriti stvarna visina aviona nad površinom tla (a ne nadmorska visina). Slična naprava može poslužiti za pronalaženje zapreka za vrijeme plovidbe, te da se spriječe sudari u magli.

477. — Decimetarski valovi primjenjuju se osim toga u *bežičnoj telefoniji* umjesto kabelskih veza (usporedi odsjek 457). Ovdje dolazi do izražaja malen utrošak materijala i ekonomičan pogon. Već godinama postoji bežična telefonska veza između Calaisa i Dovera na valnoj dužini od 18 cm. Nadalje su planinske kuće u Švicarskoj međusobno bežično povezane na valnoj dužini od 75 do 85 cm, pri čemu premoštene udaljenosti iznose i do 120 km. Između Vatikana i 20 km udaljenog Castel Gandolfa postoji također bežična veza na valnoj duljini od 57 cm. Ove su činjenice zanimljive i stoga što se ovdje elektromagnetski valovi ne iskorištavaju više za širenje vijesti u svim smjerovima, nego kao u žičnoj telefonskoj tehnici samo u određenim usko ograničenim smjerovima. Daljnja mogućnost primjene decimetarskih valova postoji u njihovoj uporabljivosti kao sredstva *veze u televizijskim odašiljačima.* Prijenos visokofrekventne energije vrši se ovdje po u n u t r a š n j o s t i naročitih metalnih cijevi, to jest u dielektrikumu (na primjer u zraku). Sama metalna cijev djeluje samo kao oklop. Budući da se elektromagnetski valovi šire u unutarnjosti cijevi, nema gubitaka isijavanja, a nepotreban je i povratni vod.

Centimetarski valovi i mikrovalovi

478. — Osim metarskih i decimetarskih valova za bežično sredstvo telekomunikacije imaju naročita svojstva *centimetarski valovi* ($\lambda = 1$ do 10 cm; $f = 30\,000$ do 3 000 MHz) i još kraći, takozvani *mikrovalovi.* S ovim valovima vrše se zasada još samo laboratorijski pokusi. Jedni i drugi (centimetarski i mikrovalovi) mogu se proizvoditi kao j a k i n a d v a l o v i pomoću elektronke sa zapornim poljem i elektronke s magnetskim poljem. Najkraći dosada pomoću elektronke s magnetskim poljem uzbuđeni neprigušeni titraji imali su valnu dužinu od 0,48 cm[104]. Nadalje je uspjelo pomoću elektronke s magnetskim poljem (elektronka je imala razrezanu anodu) proizvesti neprigušene titraje s o s n o v n i m v a l o m od 6 cm i s izlaznom snagom od 1 do 2 W sa stupnjem iskoristivosti od 5 do 10%. Promjer anode bio je jedva 4 mm i dužina anode 8 mm, a promjer katode 0,2 mm.

479. — Ako se za proizvođenje elektromagnetskih titraja ne upotrijebi odašiljač s elektronkama, nego odašiljač s iskrištem poznat iz prvih početaka radio-tehnike, doći ćemo do valnih dužina od 0,1 mm[105]. Uslijed vrlo kratkog trajanja iskre nastaju promjene napona, koje dostaju za uzbuđivanje titrajnog kruga na titranje s valnom dužinom u dijelovima milimetra. Pri tome se naravno ne upotrebljavaju više zatvoreni titrajni krugovi, nego su ovi najčešće nadomješteni dipolom. Na temelju dosadašnjih istraživanja može se očekivati da će se pomoću elektronki s magnetskim poljem i s razrezanim anodama moći proizvoditi i mikrovalovi i na taj način konačno proizvesti *toplinsko isijavanje!* Toplinsko isijavanje ima valne dužine od 0,3 mm do 0,0001 mm. Daljnje područje s valovima od 0,0004 mm do 0,0008 mm pripada zrakama vidljivog svjetla (vidi dio I, odsjek 143).



Sl. 347.

480. — Na sl. 347. vidimo konačno princip gradnje odašiljača za *svjetlosnu telefoniju (telefoniju pomoću svjetla).* U žarištu paraboličnog zrcala *P* nalazi se izvor svjetla (na primjer tinjalica, lučna svjetiljka, sijalica s vrlo tankom žarnom niti). Zrake se svjetla usmjeruju pomoću paraboličnog zrcala u paralelnom snopu prema stanici za primanje. U strujnom krugu izvora svjetla, koji je napajan iz baterije B_2, nalazi se

---

104) Taj rezultat postigao je Esau u tehničko-fizikalnom institutu u Jeni.

105) Pomoću odašiljača s iskrištem proizvedene su takve dužine vala već godine 1920.

niskofrekventni transformator NU. Primarna strana ovog transformatora spojena je s niskofrekventnim pojačalom. Ono služi za pojačavanje promjenljivih izmjeničnih napona, koji dolaze na primjer iz ugljenog mikrofona Mi u taktu govora ili glazbe. Baterija B_1 je mikrofonska baterija. Pojačani modulacioni izmjenični napon U_m superponira se (dodaje ili oduzima) naponu baterije koja napaja izvor svjetlosti L, pa se jakost struje u izvoru svjetlosti mijenja. Tako se u taktu titraja govora i glazbe mijenja i intenzitet svjetlosti isijavanih zraka, to jest zrake svjetlosti su tonski modulirane. U prijemnoj stanici skupljaju se primljene zrake svjetlosti pomoću leća sabirnica ili pomoću paraboličnog zrcala i privode fotoćeliji. Fotoćelija pretvara promjenljivu jakost osvjetljenja u odgovarajuće promjene napona, koje se preko pojačala i zvučnika mogu čuti. Odašiljač svjetlosne telefonije bitno se razlikuje od uređaja za snimanje tonfilma, dok se uređaj za primanje s uređajem za reprodukciju podudara. Svjetlosnom telefonijom postignuto je dobro sporazumijevanje na udaljenosti od 4,5 km s bijelim svjetlom, a na 3 km s crvenim svjetlom.

Ponavljanje

Budući da se decimetarski valovi mogu vrlo dobro usmjerivati, a njihovo je rasprostiranje praktički neovisno o vremenskim nepogodama, upotrebljavaju se za *osiguranje zračnog i pomorskog prometa* i za *goniometriranje*. Pomoću decimetarskih valova može se nadalje tačno *mjeriti visina aviona* nad površinom zemlje. Malen utrošak materijala i ekonomičan pogon odašiljača na decimetarskim valovima čine ih osobito prikladnima za *bežičnu telefoniju*. Osim toga služe decimetarski valovi kao sredstvo veze u televiziji. Centimetarski i još kraći mikrovalovi imaju znatnih prednosti i u *bežičnim telekomunikacijama*. *Centimetarski valovi* mogu se proizvesti pomoću elektronki sa zapornim i magnetskim poljem. Pomoću *odašiljača s iskrištem* mogu se proizvoditi valovi do 0,1 mm. Možemo se nadati da će se i pomoću elektronke s magnetskim poljem s razrezanom anodom moći također proizvoditi mikrovalovi, pa i toplinski valovi. Konačno se mogu i vidljive svjetlosne zrake modulirati govorom i glazbom *(svjetlosna telefonija)*. Tonski modulirane zrake svjetla primaju se i pretvaraju ponovno pomoću fotoćelije u odgovarajuće promjene napona.

Pitanja i odgovori

Pitanje: Koja su svojstva decimetarskih valova mjerodavna za njihovu primjenu u osiguravanju zračnog i pomorskog prometa? *Odgovor:* Decimetarski se valovi mogu vrlo jednostavnim sredstvima vrlo oštro usmjerivati; osim toga šire se praktički neovisno o vremenskim nepogodama. — *P.:* Koju osobitu prednost pružaju decimetarski valovi u službi goniometriranja? *O.:* Oštro usmjerenim valovima jednog odašiljača ne smetaju valovi drugog odašiljača, makar imali istu dužinu vala. — *P.:* Koja je još primjena decimetarskih valova u zračnom i pomorskom prometu? *O.:* Za mjerenje visine iz aviona i za sprečavanje sudara brodova. — *P.:* Koje je značenje decimetarskih valova u bežičnoj telefoniji? *O.:* Omogućuju uz malen utrošak materijala i ekonomičan pogon bežično sporazumijevanje između mjesta koja ne mogu ili ne treba da budu spojena kabelom. — *P.:* O kojoj smo daljnjoj primjeni decimetarskih valova još govorili? *O.:* O primjeni decimetarskih valova u televiziji.

— *P.:* Što su centimetarski valovi i mikrovalovi? *O.:* Centimetarski valovi su mikrovalovi. — *P.:* Kako se proizvode centimetarski valovi? *O.:* Posu visokofrekventni valovi dužine vala od 1 do 10 cm. Još kraći valovi moću malih elektronki sa zapornim i elektronki s magnetskim polje. — *P.:* Koja je najmanja dužina vala postignuta pomoću elektronke s magnetskim poljem? *O.:* Dužina vala od 0,48 cm. — *P.:* Kako se mogu proizvesti još znatno kraći valovi? *O.:* Pomoću odašiljača s iskrištem; u budućnosti vjerojatno pomoću elektronki s magnetskim poljem s razrezanim anodama. — *P.:* Koje područje valnih dužina obuhvataju toplinske zrake? *O.:* Područje od 0,3 do 0,0001 mm. — *P.:* Što razumijevamo pod svjetlosnom telefonijom? *O.:* Bežično sporazumijevanje pomoću tonski moduliranih zraka svjetlosti. — *P.:* Kako se primaju tonski modulirane zrake svjetlosti? *O.:* Pomoću fotoćelije koja pretvara promjene jakosti svjetla u promjene napona.

Pitanja

220. Koje vrsti antena dolaze uglavnom u obzir u primanju decimetarskih valova?

221. Koje se vrsti prijemnika upotrebljavaju u primanju decimetarskih valova?

222. Zašto je primjena decimetarskih valova osobito prikladna za mjerenje visina iz aviona?

Zadaci

150. Prikaži pojedina područja valova, odnosno frekvencija ultrakratkih valova i mikrovalova (uključivo toplinskih valova) grafički na pravcu dužine 160 mm, a u logaritmičkom mjerilu!

Odgovori na pitanje

1. — Struja praznog hoda stvara samo izmjenični magnetski tok u jezgri transformatora.

2. — Odnos napona na priključnicama jednak je prijenosnom odnosu, a odnos jakosti struja obrnutoj vrijednosti prijenosnog odnosa.

3. — Između struje u primarnom namotaju i struje u sekundarnom namotaju postoji fazni pomak od otprilike 180°.

4. — R e m a n e n c i j a je magnetska indukcija koja još preostaje nakon prestanka djelovanja polja koje magnetizira željezo, a k o e r c i t i v n a sila je protupolje potrebno da se poništi remanencija.

5. — Ukupni gubici jednaki su sumi gubitaka uslijed vrtložnih struja i gubitaka zbog histereze.

6. — Da mogu dati više raznih sekundarnih napona, na primjer za anode i za žarenje žarnih niti ispravljačice i ostalih elektronki.

7. — Pri jednotaktnom ispravljanju iskorišćuje se samo j e d n a poluperioda izmjeničnog napona.

8. — Pulsirajuća istosmjerna struja je struja istog smjera, ali promjenljive jakosti. Sastoji se od istosmjernog dijela i izmjeničnog dijela i njegovih parnih nadvalova.

9. — B e z ulaznog kondenzatora je srednja vrijednost istosmjernog napona pri dvotaktnom ispravljanju dva puta veća nego pri jednotaktnom. S ulaznim kondenzatorom je srednja vrijednost napona samo malo veća kod dvotaktnog nego kod jednotaktnog.

10. — Pri jednotaktnom ispravljanju izmjenični naponi s frekvencijom 50, 100, 200, 400 ... Hz, a pri dvotaktnom izmjenični naponi s frekvencijom 100, 200, 400 ... Hz.

11. — Zaporni smjer ispravljača s bakrenim oksidulom je bakar—bakreni oksidul, a selenovog ispravljača selen—željezo.

12. — Paralelnim spajanjem većeg broja ćelija.

13. — U dvotaktnom ispravljanju je frekvencija napona brujanja dva puta veća nego u jednotaktnom, pa će se zbog toga jednako filtarsko djelovanje pri dvotaktnom ispravljanju moći postići s dva puta manjim induktivitetima i kapacitetima.

14. — Odgovor je na slikama 25 i 26.

15. — S višečlanim filtrima može se napon brujanja smanjiti u većoj mjeri nego s jednočlanim.

16. — Jednak je produktu filtarskih odnosa obaju paralelno spojenih jednočlanih filtara, dakle prema jedn. (16) i (17): $V = V_1 \cdot V_2 \approx \omega RC \cdot \omega RC = (\omega RC)^2$.

17. — U dovod struje žarnim nitima ukopča se ampermetar, pa se promjenljivim predotporom ugodi ispravna vrijednost jakosti struje. Ako upotrebljavamo odgovarajuće regulatorke, postavlja se ispravna vrijednost jakosti struje automatski.

18. — To je automatski predotpor koji se sastoji od serijskog spoja željezne niti i štapića od uranova dioksida u vodikovoj atmosferi.

19. — Univerzalni prijemnik može se priključiti i na mrežu istosmjerne struje i na mrežu izmjenične struje, a prijemnik za priključak na mrežu istosmjerne struje samo na mrežu istosmjerne struje, ako nema posebnog ispravljača.

20. — Ako univerzalni prijemnik ima poseban ispravljač s mrežnim transformatorom, daje on kod priključka na 110 V izmjeničnog napona jednaku snagu kao kod priključka na izmjenični napon 220 V. Kod priključka na mrežu istosmjerne struje bit će snaga uz 110 V manja nego uz 220 V, ako prijemnik nema posebnog vibratora.

21. — Statička karakteristika vrijedi samo u slučaju kad je anodni krug kratko spojen ($R_a = 0$), a dinamička karakteristika odnosi se na opterećeni anodni krug.

22. — Uzimanjem velikog otpora u anodnom krugu i dovoljno velikog napona izvora struje.

23. — Dinamička karakteristika je pri čistom omskom opterećenju pravac.

24. — Izmjenična struja koja teče u anodnom krugu stvara na anodnom otporu izmjenični pad napona, pa uslijed toga dobiva anoda napon, koji se neprestano mijenja.

25. — Bez uzbudnog djelovanja izmjeničnog napona rešetke nema ni anodnog izmjeničnog napona, koji uzrokuje povratno djelovanje anode.

26. — Pri čistom induktivnom opterećenju fazni je pomak prema odsjeku 49: $(180^0 + 90^0) = 270^0$, a pri čistom kapacitivnom opterećenju: $(180^0 - 90^0) = 90^0$.

27. — Kod neopterećene elektronke jednak je uzbudni napon izmjeničnom naponu rešetke ($\mathfrak{U}_{st} = \mathfrak{U}_g$), jer je anodni izmjenični napon $\mathfrak{U}_a = 0$.

28. — Za neopterećenu elektronku je prema jedn. (21): $\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_g$, a za opterećenu prema odsjeku 52: $\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_{st} = S \cdot (\mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a)$.

29. — Budući da je u ovom slučaju $\mathfrak{R}_a = R_a$, imamo iz jedn. (26): $V_u = (1/D) \cdot R_a/(R_i + R_a)$.

30. — Prema jednadžbi: $V_u = \mu/[1 + (R_i/\mathfrak{R}_a)]$.

31. — Vanjski se otpor $\mathfrak{R}_a$ ne može učiniti dovoljno velikim prema unutarnjem otporu elektronke R_i.

32. — U tom slučaju može doći do ionizacije sudarom i kliznih struja uzduž izolatora među elektrodama. Osim toga ne smije se prekoračiti ni dopušteno opterećenje anode.

33. — Broj i jakost harmoničkih titraja.

34. — Izmjenični napon ne smije biti manji od nekih 10 μV.

35. — U tom bi slučaju bio premalen anodni istosmjerni napon.

36. — Za *automatski* prednapon vrijedi: prednapon = jakost anodne struje dotične elektronke × katodni otpor, a za *poluautomatsko* dobivanje: prednapon = jakost anodne struje svih elektronki × katodni otpor.

37. — Parni broj stupnjeva pojačanja uzrokuje *negativnu* reakciju koja slabi pojačanje, a *neparni* broj *pozitivnu* koja ga povećava i može dovesti do samouzbuđenja.

38. — Smanjuje galvansku reakciju, smetnje iz mreže i visinu anodnog istosmjernog napona.

39. — *Niske* tonske frekvencije slabe premaleni kondenzatori u krugu rešetke, u krugu katode (pri automatskom dobivanju prednapona) i u filtrima protiv povratne veze; štetni kapaciteti uzrokuju zapostavljanje *visokih* frekvencija iz tonskog područja.

40. — Za triodu je: $C_i = C_s + C_{gk} + C_{ak} + C_{ga}(1 + V_u)$.

41. — Uslijed lošeg vakuuma, slabe izolacije i termičke emisije rešetke.

42. — Induktivitet prigušnice mora da bude toliki da je njezin otpor za izmjeničnu struju kod najnižih frekvencija najmanje jednak unutarnjem otporu elektronke, kojoj se u anodnom krugu ona nalazi. Stvarni induktivitet prigušnice ovisi o anodnoj istosmjernoj struji koja kroz nju teče.

43. — Zato što se impedancija ulaznog namotaja niskofrekventnog transformatora ne može učiniti dovoljno velikom prema vrlo velikom unutarnjem otporu pentode.

44. — Prijenosni odnos $\ddot{u}$ mora da bude jednak $\ddot{u} = \sqrt{\mathfrak{R}_1/\mathfrak{R}_2}$.

45. — Ne; s obzirom na dobru reprodukciju dubokih tonova mora da bude ulazni induktivitet transformatora prilagođen unutarnjem otporu elektronke predstupnja (v. odsjek 90).

46. — Istosmjerna struja uzrokuje predmagnetiziranje željezne jezgre i nepovoljan pomak radne tačke na krivulji magnetiziranja transformatora (izobličenja!).

47. — Jednak je zbroju kapaciteta C_2 izlaznog namotaja, kapaciteta vanjskih spojeva C_s, kapaciteta rešetka-katoda C_{gk} i kapaciteta rešetka-anoda $C_{ga}(1 + V_u)$ slijedeće elektronke.

48. — Kao pred ulaznim induktivitetom L_1 spojeni induktivitet $s \cdot L_1$ u ulaznom krugu transformatora.

49. — Kao induktivitet veličine $L_1 = \ddot{u}^2 \cdot L_2$ i $S_1 = \ddot{u}^2 \cdot S_2$.

50. — Na pojavi serijske rezonancije, i to u dubokim tonovima između ulaznog induktiviteta i serijskog kapaciteta, a na najvišim frekvencijama između rasipnog induktiviteta i paralelnog kapaciteta.

51. — Zbog svog malenog prohvata daje pentoda, osim određene izlazne snage, i veliko pojačanje napona, tako da se može uštedjeti na pretpojačanju. Pojačanje trioda vrlo je maleno.

52. — Dio anodnog istosmjernog napona, koji se za uzbuđenje izlazne elektronke ne može iskoristiti.

53. — Zato, što pri tome nisu uzeti u obzir pogonski uvjeti kojih se treba pridržavati, niti nastala izobličenja.

54. — L i n e a r n a izobličenja (frekventna izobličenja) označuju zapostavljanje ili izdizanje pojačanja izvjesnih područja tonskih frekvencija. N e l i n e a r n a izobličenja (izobličenja oblika) mijenjaju o b l i k izmjeničnog napona, odnosno izmjenične struje, i time uzrokuju nastajanje nepoželjnih nadtonova.

55. — Pod harmonicima smatramo skup sinusoidnih titraja, u koje se može rastaviti neki izobličeni titraj. Prvi harmonik je osnovni titraj, drugi harmonik ima dvostruku frekvenciju osnovnog titraja, treći trostruku itd.

56. — Dok radne karakteristike izlaznih trioda imaju zakrivljenje istog smjera, radne karakteristike pentoda imaju oblik slova S, tj. one imaju zakretnu tačku.

57. — Dio anodne istosmjerne struje, koji se ne može iskoristiti pri uzbuđivanju izlazne elektronke.

58. — Porastom opteretnog otpora postaju radne karakteristike sve ravnije i zakreću oko radne tačke u smjeru kazaljke na satu.

59. — Izlazne pentode imaju velik unutarnji otpor, koji je tek neznatno ovisan o istosmjernom anodnom naponu.

60. — Ne; kod izlaznih trioda bit će najčešće $R_a = 2$ do $4R_i$, a kod izlaznih pentoda odabire se $R_a = 0{,}1$ do $0{,}2\ R_i$.

61. — Kod izlaznih pentoda iznosi faktor izobličenja pri punoj izlaznoj snazi oko 10%, a kod izlaznih trioda samo oko 5%.

62. — Ako se traži kvalitativna reprodukcija bez obzira na troškove, onda ćemo upotrijebiti izlazne triode. U uređajima s ograničenim brojem elektronki i kod umjerenih zahtjeva u pogledu kvalitete tona dolaze do primjene izlazne pentode.

63. — Kapacitet vodova do zvučnika spojen je zvučniku paralelno te uzrokuje zapostavljanje visokih tonova.

64. — Ukupna impedancija priključenog zvučnika mora da bude jednaka prilagodnom otporu pojačala.

65. — Oslabljenje izvjesnih područja tonskih frekvencija znači gubitak energije.

66. — Ragulator boje tona služi za slabljenje donjeg ili gornjeg područja tonskih frekvencija, kako bi se boja tona prilagodila traženim uvjetima. Kod korektora se radi o izdizanju ili zapostavljanju pojačanja

posve određenih područja tonskih frekvencija, da bi se time postigao određeni tonski efekt.

67. — Zato što se dio izlaznog izmjeničnog napona ponovno dovodi ulaznom krugu u *protivnoj* fazi.

68. — Kod *naponske se negativne reakcije* iskorištava dio anodnog izmjeničnog n a p o n a za negativnu reakciju, dok kod *strujne negativne reakcije* proizvodi anodna izmjenična s t r u j a napon za negativnu reakciju na nekom serijskom otporu.

69. — Korigiranje izobličenja ne vrši se samo u elektronki na koju djeluje negativna reakcija, nego i u svim s l i j e d e ć i m stupnjevima pojačala.

70. — Izlazni stupanj u protufaznom spoju djeluje kao s e r i j s k i s p o j, a u paralelnom spoju kao p a r a l e l n i s p o j dvaju generatora izmjenične struje.

71. — U načelu da; no smanjenje faktora izobličenja nije tako znatno kao kod izlaznih trioda.

72. — Izmjenični napon smetnji dolazi preko srednjeg odvojka ulaznog transformatora u i s t o j f a z i na uzbudne rešetke obiju izlaznih elektronki.

73. — U protufaznom AB-pojačalu faktor je izobličenja kod m a l i h izmjeničnih napona na rešetki (kod slabih signala) manji nego u protufaznom B-pojačalu.

74. — Zato što se anodna istosmjerna struja neprestano mijenja. Ona je ovisna o stupnju uzbuđenja.

75. — Protufazno B-pojačalo daje već uz male istosmjerne napone veliku izlaznu snagu. Opterećenje anodne baterije istosmjernom strujom znatno je manje nego kod protufaznog A-pojačala.

76. — Ne; anodni ispravljač s obzirom na *visoku frekvenciju* radi u kratkom spoju, dakle na statičkoj U_g—I_a-karakteristici, a s obzirom na *nisku frekvenciju* na znatno položitijoj, dinamičkoj U_g—I_a-karakteristici.

77. — Zato, što se proces ispravljanja vrši kod m a l e n i h izmjeničnih napona na donjem, vrlo zakrivljenom dijelu radne karakteristike, tako da se dobiva velik faktor izobličenja.

78. — U anodnom ispravljaču dolazi do p o r a s t a, a u audionu (ispravljaču rešetkom) dolazi do p a d a srednje vrijednosti anodne istosmjerne struje.

79. — Ispravljač rešetkom (audion) omogućuje primjenu jače reakcije nego anodni spravljač. Zbog toga je audion osjetljiviji.

80. — Diodni ispravljač može bez izobličenja ispraviti mnogo veće visokofrekventne napone nego anodni ispravljač.

81. — Zato što visokofrekventni napon treba da iznosi s obzirom na demodulaciju bez izobličenja najmanje 10 V_{ef}; potrebno je dakle dovoljno veliko visokofrekventno pretpojačanje. Osim toga ne daje diodni ispravljač nikakvo pojačanje, niti mogućnost za primjenu reakcije.

82. — Usporedbu s urom njihalicom. Njihanje njihala odgovara titrajima u anodnom krugu, pogon odgovara anodnoj bateriji, veza pogona s njihalom odgovara vezi zavojnice u krugu rešetke s anodnom zavojnicom, a zupčastom kotaču, okretanjem kojega upravlja njihalo, uzbudno djelovanje rešetke elektronke.

83. — Budući da fazni pomak između izmjeničnog napona na anodi i rešetki iznosi 180°, moraju i titraji anodnog titrajnog kruga biti preneseni na krug rešetke s faznim pomakom od 180°. Potrebno je dakle paziti na ispravan polaritet zavojnica obaju krugova.

84. — Zato da bi se tačka ulaženja u samooscilacije, odnosno stupanj razgušenja, mogli bez poteškoća postaviti.

85. — Kod detekcije rešetkom nalazi se radna tačka na mnogo strmijem mjestu U_g—I_a-karakteristike nego kod detekcije anodom.

86. — Što je razgušenje manje, to je šiljastija krivulja rezonancije titrajnog kruga, pa uslijed toga može doći do nedopuštenog zapostavljanja visokih tonova.

87. — Vlastita frekvencija prigušnice uvjetovana induktivitetom i vlastitim kapacitetom mora da bude niža od najniže visoke frekvencije koja dolazi u obzir za prijem.

88. — Pri svakom približavanju ruke prijemniku ili udaljivanju od prijemnika mijenja se ugađanje prijemnika.

89. — Postoje prijemnici za priključak na mrežu izmjenične struje i prijemnici za priključak na mrežu istosmjerne i izmjenične struje.

90. — To je demodulator rešetkom s reakcijom, ali s visokofrekventnom pentodom.

91. — Tako da se u krug antene ukopča zaporni krug ugođen na frekvenciju odašiljača koji smeta.

92. — Postupkom ugađanja jednim dugmetom; svi promjenljivi kondenzatori nalaze se na istoj osovini.

93. — Često je napon smetnji veći od korisnog napona signala koje želimo primati.

94. — Grupi direktnih prijemnika s tri kruga i pet elektronki.

95. — Obje vrste pojačala moraju pojačavati što širi pojas frekvencija, a ne samo jednu određenu frekvenciju.

96. — Kapacitet anoda-rešetka unosi kapacitivnu reakciju između kruga rešetke i anodnog kruga.

97. — Uslijed velikog unutarnjeg otpora pentode dobiva se manje pseudoprigušenje anodnog kruga, bolja selektivnost i veće naponsko pojačanje; malen kapacitet anoda-rešetka smanjuje osim toga znatno mogućnost samouzbuđenja.

98. — Odgovor je dan na sl. 148. i 150.

99. — Malen promjenljivi kondenzator koji se upotrebljava u neutrodinskim spojevima. Neutrodin mora da ima vrlo malen početni kapacitet i konačni kapacitet od nekoliko pF.

100. —Danas se u visokofrekventnim pojačalima upotrebljavaju pentode s vrlo malenim kapacitetom anoda-rešetka.

101. Oštrina rezonancije jednaka je obrnutoj vrijednosti kuta gubitaka.

102. — S porastom frekvencije selektivnost će padati.

103. — Pomoću dvaju promjenljivih kondenzatora na istoj osovini sa zajedničkim pogonom.

104. — Prohvat je zbog nejednolikog namatanja uzbudne rešetke vrlo promjenljiv; što je veći negativni prednapon uzbudne rešetke, to veći je i prohvat.

105. — To je negativni prednapon uzbudne rešetke, potreban da se proizvede određena promjena strmine.

106. — Slabi proces regulacije i može uzrokovati prekoračenje dopuštenog napona zaslonske rešetke.

107. — Regulirana heksoda sastoji se od katode, prve uzbudne rešetke, prve zaslonske rešetke, druge uzbudne rešetke, druge zaslonske rešetke i anode.

108. — Općenito ne! Za automatsku regulaciju često vrlo različitih jakosti polja na mjestu prijema moraju bar d v a stupnja visokofrekventnog pojačala biti istodobno regulirana.

109. — Elektroni napuštaju katodu određenom izlaznom brzinom. Uslijed toga teče i kod visokofrekventnog napona od 0 V na anodi izvjesna mala struja, koja na opteretnom otporu stvara početni napon.

110. — To je vrijeme nakon kojeg se kondenzator preko filtarskog otpornika nabije na dvije trećine vrijednosti regulacionog napona.

111. — Padom napona na katodnom otporu izlazne elektronke ili elektronke u niskofrekventnom pretpojačalu.

112. — Istodobnim reguliranjem većeg broja stupnjeva visokofrekventnog pojačala (»regulacija unatrag«) i jednog stupnja niskofrekventnog pojačala (»regulacija unaprijed«).

113. — Regulirani prijemnik radi s vrlo velikim stupnjem pojačala kad su ulazni naponi maleni.

114. — U toliko, što se tačnost ugađanja može optički kontrolirati otklonom kazaljke instrumenta, širinom sjene, duljinom tinjavog stupca ili veličinom svijetlog sektora.

115. — Udaranjem dovoljno brzih elektrona na masu koja fluorescira.

116. — Ako je napon svijetlećeg zaslona 250 V, kut se može mijenjati između oko 5° i 165°.

117. — Ako se sistem za niskofrekventno pojačavanje upotrijebi posebno, može se indikatorska elektronka bolje iskoristiti.

118. — Odnos diferencije prema sumi vrijednosti strmine dinamičke U_g—I_a-karakteristike kod elektronke za visokofrekventno pojačavanje, koje imamo kod vršnih uzbuđenja.

119. — Izobličenje modulacije raste s kvadratom izmjeničnog napona na rešetki.

120. — Faktor modulacije ukrštavanjem raste s kvadratom napona odašiljača, koji smeta, dovedenog na rešetku.

121. — Uz neznatne jakosti struje zaslonske rešetke, dakle uz najveći regulacioni napon.

122. — Lagano klizanje napona zaslonske rešetke naviše uzrokuje bržu regulaciju, ali povećava izobličenje; jako klizanje toga napona naviše uzrokuje sporiju regulaciju s manje izobličenja.

123. — Čelične elektronke imaju nožište s osam nožica i vodilo u sredini; na jednoj strani nožišta su tri, a na drugoj pet nožica jedna uz drugu.

124. — Kod prijemnika za kratke valove, supera i prijemnika za televiziju.

125. — Refleksni prijemnik daje veće pojačanje od direktnog s istim brojem elektronki, pa se može očekivati bolji prijem s manjim brojem elektronki.

126. — Sklopke S_1 do S_6 pokreću se jednim dugmetom iako su smještene na dvije osovine. One su naime međusobno povezane lančanim pogonom.

127. — Paralelnim trimerima izjednačuju se kapaciteti spojeva, koji su paralelni promjenljivim kondenzatorima za ugađanje, a pomicanjem jezgre izjednačuju se induktiviteti zavojnica visokofrekventnih transformatora. Savijanjem ploča rotora promjenljivih kondenzatora postizava se fino ugađanje u ostalim međupoložajima unutar područja prijema.

128. — Može se priključiti drugi zvučnik koji može biti na primjer u drugoj sobi.

129. — Oznaka »superheterodin« ukazuje na superponiranje (super) raznih (hetero) titrajnih sila (din).

130. — Razni stupnjevi visokofrekventnog pojačala vrše pojačanje signala dviju različitih frekvencija, naime ulazne frekvencije i međufrekvencije. Zbog toga može doći teže do samouzbuđenja pojedinih stupnjeva pojačala.

131. — Zrvalne frekvencije jednake su sumi, odnosno diferenciji frekvencije koju želimo primati, i dvostruke međufrekvencije (vidi jedn. 74).

132. — Što je više međufrekvencija, to je potrebna manje predselekcija.

133. — Super s jednim područjem treba samo jedan slog oscilatorskih zavojnica bez prekapčanja.

134. — Miješalica radi samo kod pozitivnih poluperioda signala pomoćnog oscilatora, dakle kao anodni demodulator.

135. — Superponiranjem zrcalnih frekvencija s frekvencijama pomoćnog oscilatora u prvom redu, a onda aditivnim miješanjem ulaznih titraja s nadtitrajima pomoćnog oscilatora međusobno ili s osnovnim titrajima (vidi odsjeke 268 i 278).

136. — Multiplikativno miješanje nastaje onda kad se ulazni signali dovode na jednu, a signali pomoćnog oscilatora na drugu uzbudnu rešetku miješalice, a pri tome jedna uzbudna rešetka služi istodobno kao razdjelna rešetka za struju elektrona.

137. — Ako je miješalica regulirana, nastaju između elektroda promjene prostornog naboja, koje uzrokuju promjene kapaciteta elektronke i prebacivanje frekvencija.

138. — Strmina miješanja raste kad raste izmjenični napon pomoćnog oscilatora, a pada s porastom napona regulacije.

139. — Ukupno šest elektroda; pomoćna anoda, dakle druga »rešetka« sastoji se samo od dva štapića paralelna s katodom.

140. — Spoj s heksodom, ali s posebnim oscilatorom.

141. — Spoj s heksodom i posebnim oscilatorom, spoj s oktodom i spoj s triodom-heksodom.

142. — Prema ključu iz dijela I, odsjek 259, znači prvo slovo A žarenje izmjeničnim naponom od 4 V, prvo slovo E žarenje sa 6,3 V, drugo slovo H označuje heksodu, drugo slovo K oktodu, a drugo slovo C triodu.

143. — Za svako područje valova potrebno je predvidjeti i ugoditi posebne paralelne trimere i kondenzatore za skraćivanje.

144. — Ulazni krug s pojasnim filtrom, filtarski krug za međufrekvencije i zrcalne frekvencije, zaporni krug za lokalnu stanicu i pretpojačalo.

145. — Ne, nego podijeljen s kvadratom naponskog pojačanja prvog stupnja pojačala.

146. — Ako se želi prijem bez smetnji, mora biti barem sto puta veći.

147. — Da bi se izbjeglo zapostavljanje dubokih tonova uslijed niskofrekventne negativne reakcije na otporniku u katodi.

148. — Stvaranje mogućnosti svjetlije reprodukcije govora; kad se sluša glazba propušta se čitavo tonsko područje.

149. — Čeličnim elektronkama iz harmoničke serije, na primjer: EF 13, ECH 11, EBF 11, EFM 11, EL 12, AZ 12.

150. — Otpornik urdoks-željezo u vodiku služi kao predotpor i štiti istodobno žarne niti elektronki i signalne žaruljice od posljedica promjene napona mreže i udaraca pri ukapčanju (vidi odsjek 35).

151. — Uređaj za ukapčanje koji omogućuje što automatskije rukovanje prijemnikom.

152. — Titrajni je krug oscilatora samo neznatno prigušen velikim unutarnjim otporom pentode.

153. — Inače bi automatsko ugađanje oštrine spriječilo prijem stanice susjedne po frekvenciji, odnosno prebacilo bi ugađanje na susjednu jaku stanicu.

154. — Promjenom strmine elektronke za pomak u ovisnosti o pozitivnom ili negativnom naponu za naknadno ugađanje.

155. — Akumulatori s običnim punjenjem kiseline, akumulatori sa suhim punjenjem i suhe baterije za žarenje.

156. — S baterijskim elektronkama K-serije, i to s dvjema triodama KC 1 i jednom izlaznom pentodom KL 1.

157. — Visokofrekventni suhi ispravljač, na primjer »sirutor«, ispravljač s bakrenim oksidulom.

158. — Da isfiltrira ostatke visoke frekvencije.

159. — Ona mora osim pojačanja davati i izmjeničnu snagu za rešetku izlaznog stupnja.

160. — Da bi reprodukcija nadglasala smetnje i buku za vrijeme vožnje, i da bi se moglo slušati bez napregnute pažnje.

161. — Da, samo se mora dio mrežnog spoja preinačiti prema spoju na sl. 240.

162. — Ispravljač služi za pretvaranje izmjeničnih napona u istosmjerne, a vibrator za pretvaranje istosmjernih napona u izmjenične.

163. — Bezična telegrafija, u kojoj su titraji prijenosnog vala tipkani u taktu Morzeovih znakova, dakle nisu modulirani.

164. — Vrijeme koje je potrebno elektronima da prijeđu put katoda-rešetka, odnosno katoda-anoda.

165. — Po mogućnosti što manji kapacitet elektronke i što kraće vrijeme leta elektrona.

166. — Na svakom frekventnom području treba postići udobno ugađanje. Svaki se od pojedinih pojaseva frekvencija treba protezati preko 50 do 70% skale.

167. — Svaka slobodno u prostoru zavješena neuzemljena antena, koja može biti ravna ili savijena, horizontalna ili vertikalna.

168. — Schnellov spoj s induktivno-kapacitivnom reakcijom, koja se može regulirati promjenom anodnog napona. Nadalje audion sa zaštitnom rešetkom, također s induktivno-kapacitivnom reakcijom, kod koje se regulacija izvodi promjenom napona druge rešetke

169. — Kod primanje telegrafije treba da se prenosi samo područje interferentnog tona (oko 1 000 Hz). Tim se istodobno povisuje selektivnost.

170. — Povišenje osjetljivosti prijema i selektivnost, neovisnost o anteni, uklanjanje »rupa«, mogućnost baždarenja prijemnika, sprečavanje isijavanja titraja koje proizvodi audion s reakcijom.

171. — Tioda-heksoda (vidi odsjek 291)

172. — Najkraća granična valna dužina, ispod koje odašiljačka elektronka ne radi više besprijekorno, leži nešto više nego kod elektronki za primanje.

173. — Prema jedn. (64) mora da bude $\mathfrak{K} = D + 1/(S \cdot \mathfrak{R}_a)$ ako je $\mathfrak{K} = -\mathfrak{U}_g/\mathfrak{U}_a$ faktor reakcije, D je prohvat, S je strmina i $\mathfrak{R}_a$ anodni otpor za izmjeničnu struju.

174. — Jednostavnija konstrukcija, jednostavnije ugađanje i rukovanje, nadalje upotrebljivost do valnih dužina od nekoliko metara.

175. — Spoj u tri tačke s induktivnim i kapacitivnim djeliteljem napona (Hartleyjev i Colpittsov spoj), Huth-Kühnov spoj bez kristala i s kristalom, spoj s elektronskom vezom sa spojem u tri tačke, spoj s elektronskom vezom i s kristalom.

176. — Inače bi superponiranjem došlo do neugodnih smetnji prigodom prijema.

177. — Sastoji se od serijskog spoja induktiviteta, kapaciteta i omskog otpora. Paralelno k ovima spojen je kapacitet ploča kristala.

178. — Primjenom pentode umjesto triode i dodavanjem stupnja visokofrekventnog pojačala.

179. — Kod uzbudnog odašiljača može se upotrijebiti kvarcov kristal, jer on mora strano uzbuđivanom odašiljaču davati vrlo malenu snagu.

180. — S paralelnim napajanjem radi samo treći stupanj visokofrekventnog pojačala; svi ostali stupnjevi rade sa serijskim napajanjem.

181. — Zato što je krug rešetke ugođen na frekvenciju f, a anodni krug na frekvenciju $2f$.

182. — Zato što izobličenjem nastale nadvalove potiskuju titrajni krugovi, te oni uopće ne mogu doći do antene.

183. — Kod odašiljačkih elektrona snaga je na anodi uvijek manja od snage istosmjerne struje, dok je kod elektronki u prijemniku anodna snaga za vrijeme stanke jednaka snazi istosmjerne struje.

184. — Granični otpor ovisi samo o anodnom istosmjernom naponu, a nikako o unutarnjem otporu elektronke.

185. — Modulirana se telegrafija može primati svakim običnim prijemnikom, a nemodulirana telegrafija samo primjenom pomoćne frekvencije proizvedene u prijemniku.

186. — Tipkanje antenskog kruga, anodnog kruga i kruga rešetke.

187. — Prigšnicom se postizava postepeni porast i opadanje anodne struje, dok se prigušenje iskara postizava pomoću serijskog spoja otpora i kondenzatora.

188. — Da; kod velikog postotka modulacije nastaje čitav niz daljnjih bočnih valova, naime osim $f + f'$ također $f \pm 2f'$, $f \pm 3f'$ itd.

189. — U samouzbudnom spoju rade odašiljači na sl. 275, 276, 277. i 283, a sa stranim uzbuđenjem odašiljači na sl. 281. i 285. Paralelno napajanje imamo na sl. 275, 276, 283. i 285, a serijsko napajanje na sl. 277. i 281.

190. — Modulacija se vrši s elektronkom (modulatorkom) spojenom paralelno odašiljačkoj elektronki.

191. — Modulacija naponom rešetke, strujom rešetke, modulacija anodnog istosmjernog napona i modulacija trećom rešetkom.

192. — U slobodnom prostoru je brzina širenja jednaka brzini svjetlosti, to jest $c = 300\,000$ km/s, dok je u žicama ta brzina nešto manja.

193. — Dužina antene jednaka je 0,95 · (3/4) λ_3, odnosno 0,95 · (5/4) λ_5.

194. — Ugođeni pojni vodovi moraju biti ugođeni na dužinu vala ili na višekratnik ove. Kod prilagođenih pojnih vodova mora završni otpor antene da bude jednak valnom otporu pojnog voda.

195. — Ili kao strujno vezan naponski uzbuđen dipol ili kao naponski vezan i naponski uzbuđen dipol.

196. — Hertzov dipol s prilagođenim dvožičnim pojnim vodom.

197. — U razglasnoj službi na stalnim valnim dužinama i u komercijalnom bežičnom prometu.

198. — Usmjerna antena s reflektorom.

199. — Zajedničkim djelovanjem gotovo jednako jakog površinskog vala i prostornog vala u bližoj okolini odašiljača.

200. — Anodnom neutralizacijom II, III i IV stupnja i rešetkinom neutralizacijom stupnjeva V do VII.

201. — Parni harmonici potiskuju se djelovanjem protufaznog spoja u VI i VII stupnju, a neparni harmonici filtrom.

202. — Ista električka svojstva kao prava antena.

203. — Daljina koja slijedi iz jedn. (80) posve je geometrijskog značenja, jer se bazira na pravocrtnom širenju ultrakratkih elektromagnetskih valova, pa u praksi može poslužiti samo za orijentaciju. Stvarni doseg je veći.

204. — Lomom u slojevima zraka različite temperature, tlaka i vlažnosti, kao i kod svjetla, gdje je također moguće gledanje iza granice geometrijskog horizonta.

205. — Preko mora postižu se veći dometi nego preko kopna.

206. — Na visokim frekvencijama nemaju visokofrekventne prigušnice veliko zaporno djelovanje. Neznatne promjene na visokofrekventnoj prigušnici imaju znatan utjecaj na zaporno djelovanje, odnosno na veličinu samouzbuđenja odašiljača.

207. — Sistem paralelnih žica, nazvan i Lecherovim sistemom, djeluje kao ugođeni pojni vod.

208. — Izuzev specijalne vrsti antena, razlika je između antena za kratke i antena za ultrakratke valove samo u dimenzijama.

209. — Sastavni dijelovi moraju da budu od materijala s malenim dielektričkim gubicima; spojni vodiči moraju da budu što kraći i što čvršći.

210. — Serijskim spojem dvaju malih promjenljivih kondenzatora ili pojasnim ugađanjem.

211. — Ispred bilo kakvog prijemnika treba spojiti superheterodinski stupanj za miješanje s triodom-heksodom.

212. — Primani titraji, vlastiti titraji i superregeneracioni titraji.

213. — Superregeneraciona frekvencija određuje brzinu nastajanja i prestajanja vlastitih titraja (reakcionih titraja) ulaznog kruga.

214. — Ispravnim izborom najpovoljnijeg anodnog istosmjernog napona audionke i najpovoljnijih amplituda superregeneracionih frekvencija.

215. — Titraji električkog plesa, koji nastaju u unutarnjosti elektronke sa zapornim poljem.

216. — Ne; suprotno nego što je kod običnih odašiljačkih elektronki, na vlastitu frekvenciju električkog plesa može se elementima vanjskog spoja tek naznatno utjecati.

217. — Pod utjecajem vrlo jakih magnetskih polja vraćaju se elektroni tek nakon višekrtnog oblijetanja ponovno na katodu.

218. — Frekvencija magnetskog električkog plesa elektrona direktno je proporcionalna magnetskoj indukciji.

219. — Nastajanje Habannovih titraja svodi se na djelovanje negativnog otpora između segmenata anode, dok magnetski ples elektrona nastaje mehanizmom izlučivanja elektrona, koji troše energiju.

220. — Izvedbe antena za odašiljače decimetarskih valova, na primjer dipol i sistem paralelnih žica.

221. — Prijemnik s kristalnim detektorom, audion s reakcijom, prijemnik sa superreakcijom i prijemnik sa superponiranjem, prijemnik s elektronkom sa zapornim poljem i s elektronkom s magnetskim poljem (na primjer audion sa zapornim poljem).

222. — Zato što se na ovaj način može izmjeriti stvarna visina aviona nad površinom zemlje.

Rješenje zadatka

1. — Zadano je $U_1 = 110$ V, $f = 50$ Hz, $\mathfrak{B}_m = 10\,000$ G, $w_1 = 1\,000$ zavoja; traži se F. Iz jedn. (1) imamo:

$F = U_1 \cdot 10^8/(4{,}44 \cdot w_1 \cdot f \cdot \mathfrak{B}_m) = 110 \cdot 10^8/(4{,}44 \cdot 1\,000 \cdot 50 \cdot 10\,000) =$ $= 110/22{,}20 = 4{,}96\ \text{cm}^2 \approx \underline{5{,}0\ \text{cm}^2}$.

2. — Zadano je $w_1 = 880$ zav., $U_1 = 220$ V, $U_2 = 4$ V, $I_2 = 2$ A; traži se w_2, $\ddot{u}$, I_1, N_s. Iz jedn. (3) imamo: $w_2 = (U_2/U_1) \cdot w_1 = 4 \cdot 880/220 =$ $= \underline{16\ zavoja}$. Dalje iz jedn. (3) slijedi: $\ddot{u} = U_1/U_2 = 220/4 = \underline{55 = 1 : 0{,}0182}$. Iz jedn. (4) imamo: $I_1 = I_2/\ddot{u} = 2/55 = 0{,}0364$ A $= \underline{36{,}4\ \text{mA}}$. Prividna snaga N_s je prema dijelu I, odsjek 74.: $N_s = U_1 \cdot I_1 = 220 \cdot 0{,}0364 = \underline{8{,}01\ \text{VA}}$. Ova prividna snaga jednaka je prividnoj snazi $U_2 \cdot I_2 = 4 \cdot 2 = \underline{8{,}00\ \text{VA}}$ u sekundarnom namotaju; neznatne razlike prema $U_1 \cdot I_1$ objašnjavaju se zaokruženim vrijednostima za I_1.

3. — Zadano je $U_1 = 220$ V, $f = 50$ Hz, $\mathfrak{B}_m = 10\,000$ G, $F' = 10\ \text{cm}^2$, $U_2 = 300$ V, $U_3 = 4$ V, $U_4 = 4$ V, $I_2 = 100$ mA $= 0{,}100$ A, $I_3 = 1$ A, $I_4 = 4$ A, Traži se F, w_1, w_2, w_3, w_4, d_1, d_2, d_3, d_4. Presjek željezne jezgre dobivamo iz jedn. (10); za njega nam međutim manjka još ulazna snaga N. Ta se prema odsjeku 11. sastoji od ovih snaga: snage utrošene na žarne niti $= U_3 \cdot I_3 + U_4 \cdot I_4 = 4 \cdot 1 + 4 \cdot 4 = 20$ VA, snage potrebne za anode $= U_2 \cdot I_2 = 300 \cdot 0{,}100 = 30$ VA, gubitaka u ispravljaču kod jednotaktnog ispravljanja $= 500 \cdot I_2^2 = 500 \cdot 0{,}100^2 = 5$ VA, gubitaka u željezu i namotajima $= 9$ VA. Ukupna snaga je prema tome: $N = 20 + 30 + 5 + 9 = 64$ VA. Prema tome će iz jedn. (10) biti: $F =$ $= 64/(0{,}55 \cdot 10) = \underline{11{,}6\ \text{cm}^2}$. Iz toga dobivamo pomoću jedn. (9) za primarni namotaj: $w_1 = U_1 \cdot 10^8/(4{,}44 \cdot 50 \cdot 11{,}6 \cdot 10\,000) = 3{,}88 \cdot U_1$ (3,88 je dakle »broj zavoja po voltu«), a odavde je: $w_1 = 3{,}88 \cdot 220 = 853{,}6 \approx \underline{854\ zavoja}$. Na isti način dobivamo za druge namotaje: $w_2 = 3{,}88 \cdot U_2 = 3{,}88 \cdot 300 =$ $= \underline{1\,164\ zav.}$, $w_3 = w_4 = 3{,}88 \cdot U_3 = 3{,}88 \cdot 4 = 15{,}52 = \underline{16\ zav.}$ Promjer žice dobivamo iz jedn. (11). Kako je primarna snaga $N = 64$ VA, bit će primarna struja: $I_1 = N/U_1 = 64/220 = 0{,}291$ A, a iz toga je $d_1 = 0{,}65 \cdot \sqrt{0{,}291} =$ $= \underline{0{,}35\ \text{mm}}$. Iz jedn. (11) imamo dalje: $d_2 = 0{,}65 \cdot \sqrt{0{,}100} = \underline{0{,}21\ \text{mm}}$, $d_3 = 0{,}65 \cdot \sqrt{1} = \underline{0{,}65\ \text{mm}}$, $d_4 = 0{,}65 \cdot \sqrt{4} = \underline{1{,}30\ \text{mm}}$.

4. — Zadano je $v_{10} = 2{,}6$ W/kg, $\mathfrak{B}_m = 12\,000$ G; traži se v. Iz jedn. (8) imamo: $v = 2{,}6\ (12\,000/10\,000)^2 = 2{,}6 \cdot 1{,}44 = 3{,}74$ W/kg.

5. — Zadano je $f = f' = 50$ Hz, $I_a = 45$ mA $= 0{,}045$ A, $C = 8\ \mu$F $= 8 \cdot 10^{-6}$ F; traži se U_b. Napon brujanja možemo izračunati iz jedn. (13): $U_b = 0{,}045/(4 \cdot 50 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 \cdot 10^{-6}) = 45\,000/(1\,600 \cdot \sqrt{2}) = 19{,}9 \approx 20$ V.

6. — Zadano je $U = 300$ V, $U_m = 300 \cdot \sqrt{2} = 424{,}3$ V, $f = 50$ Hz, $f' = 100$ Hz (dvotaktno ispravljanje!), $I_a = 100$ mA $= 0{,}100$ A, $C = 4\ \mu$F $= 4 \cdot 10^{-6}$ F; traži se: $M(u)$ i U_b. Iz jedn. (14) dobivamo: $M(u) = 0{,}637 \cdot 424{,}3 = 270{,}3$ V. Dalje imamo iz jedn. (13); $U_b = 0{,}100/(4 \cdot 100 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 \cdot 10^{-6}) = 1\,000/(16 \cdot \sqrt{2}) = 42{,}2$ V.

7. — Zadano je: $M(u) = 500$ V; traži se U. Iz jedn. (14) slijedi za tjemenu vrijednost U_m izmjeničnog napona: $U_m = M(u)/0{,}637 = 500/0{,}637 = 785$ V, a odavle dobivamo za efektivnu vrijednost: $U = 785/\sqrt{2} = 555$ V. Traženi izmjenični napon mora dakle (zbog dvotaktnog ispravljanja) biti: $2\,U = 2 \times 555$ V.

8. — Zadano je $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 100\,\pi$ (jednotaktno ispravljanje!), $U_1 = 20$ V, $L = 30$ H, $C = 16\ \mu$F $= 16 \cdot 10^{-6}$ F; traži se V i U_2. Iz jedn. (15) imamo: $V \approx \omega^2\ LC = 10^4 \cdot \pi^2 \cdot 30 \cdot 16 \cdot 10^{-6} = 4{,}8\,\pi^2 \approx 47$. Prema tome je: $U_2 = U_1/V = 20/47 \approx 0{,}43$ V.

9. — Zadano je $C_1 = C_2 = C = 8\ \mu$F $= 8 \cdot 10^{-6}$ F, $V = 1\,000$, $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 100 = 200\,\pi$ (dvotaktno ispravljanje!); traži se $L_1 = L_2 = L$. Iz jedn. (15) i (16) dobivamo za dvočlani filtar s prigušnicama: $V = V_1 \cdot V_2 \approx \omega^2 LC \cdot \omega^2 LC = (\omega^2 LC)^2$, dakle $L = \sqrt{V}/(\omega^2 C) = \sqrt{1\,000}/(4 \cdot 10^4 \cdot \pi^2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}) = 31{,}6/(0{,}32\,\pi^2) \approx 10$ H.

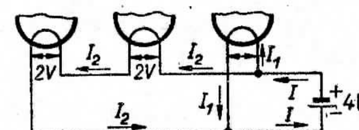
10. — Zadano je $R_1 = 10$ kΩ $= 10^4$ Ω, $R_2 = 20$ kΩ $= 2 \cdot 10^4$ Ω, $U_1 = 0{,}1$ V, $U_3 = 50\ \mu$V $= 50 \cdot 10^{-6}$ V, $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 100 = 200\,\pi$; traži se: $C_1 = C_2 = C$. Ukupni filtarski odnos je $V = U_1/U_3 = 0{,}1/(50 \cdot 10^{-6}) = 0{,}002 \cdot 10^6 = 2\,000$. Zbog toga je prema jedn. (16) i (17): $V = V_1 \cdot V_2 \approx \omega R_1 C \cdot \omega R_2 C = \omega^2 R_1\, R_2 C^2$, a odavle: $C = (1/\omega)\sqrt{V/(R_1 \cdot R_2)} = [1/(200\,\pi)]\ \sqrt{2\,000/(10^4 \cdot 2 \cdot 10^4)} = \sqrt{10^{-5}}/(200\,\pi) \approx 5{,}0 \cdot 10^{-6}$ F $= 5\ \mu$F.

11. — Zadano je $U_h = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 13 + 13 + 13 + 33 = 72$ V (serijsko žarenje), $U = 220$ V, $I_h = 200$ mA $= 0{,}2$ A (C-serija!); traži se R. Iz jedn. (18) imamo: $R = (220 - 72)/0{,}200 = 148/0{,}200 = 740$ Ω (to vrijedi samo za zagrijano, pogonsko stanje; vidi odsjek 33).

12. — Zadano je $U_1 = U_2 = U_3 = 13$ V, $U_4 = 33$ V, $U_5 = 20$ V, $U_6 = U_7 = 6$ V, $U = 220$ V; traži se U_h i U_R. Budući da su žarne niti spojene u seriju, bit će ukupni napon potreban za žarne niti jednak sumi pojedinih napona: $U_h = 3 \cdot 13 + 33 + 20 + 2 \cdot 6 = 104$ V. Urdoks-željezo u

vodiku kao predotpor morat će dakle poništiti napon $U_R = U - U_h = 220 - 104 = 116$ V.

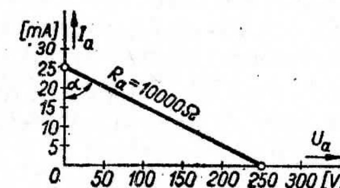
13. — Miješano paralelno i serijsko žarenje slijedi iz slike uz rješenje. Paralelno akumulatoru spojena je žarna nit za 4 V, a međusobno u seriju spojene su obje žarne niti za 2 V. Ovaj spoj pretpostavlja međutim da obje elektronke iz K-serije imaju tačno jednake struje



žarnih niti, jer su elektronke iz K-serije građene za jednake napone žarnih niti. Uslijed paralelnog spoja ukupna je jakost struje: $I = I_1 + I_2 = 0{,}15 + 0{,}065 = 0{,}215$ A.

14. — Zadano je $R_a = 0{,}25$ MΩ $= 250\,000$ Ω, $I_a = 0{,}5$ mA $= 0{,}0005$ A, $U_a = 150$ V; traži se U. Iz odsjeka 41. slijedi: $U = U_a + I_a \cdot R_a = 150 + 0{,}0005 \cdot 250\,000 = 150 + 125 = 275$ V.

15. — Početna tačka ravne dinamičke karakteristike je kod 250 V na U_a-osi. Iz jedn. (19) slijedi: tg $\alpha = R_a = 10\,000$ Ω $= U/I_a = 250/I_a$, dakle:



$I_a = 250/10\,000 = 0{,}025$ A $= 25$ mA. Završna tačka dinamičke karakteristike je dakle kod 25 mA na I_a-osi. Dobivamo dinamičku karakteristiku kao na slici uz rješenje.

16. — Anodni napon mirovanja je prema odsjeku 41. i 45.: $U_a = U - I_a \cdot R_a = 300 - 0{,}0008 \cdot 200\,000 = 300 - 160 = 140$ V. Uz izmjeničnu anodnu struju s tjemenom vrijednošću 0,4 mA dobivamo prema odsjeku 45. na omskom anodnom otporu pad izmjeničnog napona, a prema tome i anodni izmjenični napon, s tjemenom vrijednošću $0{,}0004 \cdot 200\,000 = 80$ V.

17. — Anodni napon jednak je naponu baterije, to jest 250 V; jer se u anodnom krugu nalazi samo induktivni otpor na kome nema pada istosmjernog napona. Tjemena vrijednost anodne izmjenične struje bit će prema Ohmovom zakonu jednaka odnosu tjemene vrijednosti anodnog izmjeničnog napona prema impedanciji, dakle $125/2\,500 =$

$= 0{,}050$ A $= 50$ mA. Kako je ova izmjenična struja superponirana anodnoj struji mirovanja, imamo za tjemenu vrijednost ukupne jakosti anodne struje (vidi sl. 40 i 41) vrijednosti: $60 \text{ mA} \pm 50 \text{ mA} = 110$ mA, odnosno 10 mA.

18. — Zadano je $S = 9{,}5$ mA/V $= 0{,}0095$ A/V, $R_i = 50$ kΩ $= 50\,000\ \Omega$, $\mathfrak{R}_a = 7$ kΩ $= 7\,000\ \Omega$, $\mathfrak{U}_g = 4$ V; traži se S_a, $\mathfrak{J}_a$, $\mathfrak{U}_a$. Iz jedn. (27) slijedi: $S_a = 9{,}5/(1 + 7\,000/50\,000) = 9{,}5/1{,}14 = 8{,}33$ mA/V, a odavde iz jedn. (28) imamo $\mathfrak{J}_a = 8{,}33 \cdot 4 = 33{,}3$ mA. Prema odsjeku 52. biti će onda: $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{J}_a \cdot \mathfrak{R}_a = 0{,}0333 \cdot 7\,000 = 233$ V.

19. — Zadano je $R_i = 12$ kΩ $= 12\,000\ \Omega$, $D = 3{,}3\% = 0{,}033$, $L = 50$ H, $\omega = 5\,000$; traži se: V_u, S_a i S. Naponsko pojačanje možemo izračunati iz jedn. (26). Kako je $\mathfrak{R}_a = \omega L = 5\,000 \cdot 50 = 250\,000\ \Omega$, a $R/\mathfrak{R}_a = 12\,000/250\,000 = 0{,}048$, dobivamo $V_u = 1/[0{,}033(1 + 0{,}048)] = 30{,}3/1{,}048 \approx \approx 29$. Dalje imamo iz Barkhausenove jednadžbe (dio I, jedn. 92): $S = 1/(D \cdot R_i) = 1/(0{,}033 \cdot 12\,000) = 1/396 = 0{,}00253$ R/V $= 2{,}53$ mA/V. Iz jedn. (27) slijedi konačno (jer je: $\mathfrak{R}_a/R_i = 250\,000/12\,000 = 20{,}8$): $S_a = 2{,}53/(1 + 20{,}8) = 2{,}53/21{,}8 = 0{,}116$ mA/V. Budući da je $\mathfrak{R}_a = \omega L$ ovisan o frekvenciji, vrijede gornje izračunate vrijednosti za V_u i S_a samo za kružnu frekvenciju 5 000.

20. — Zadano je $D = 11\% = 0{,}11$, $R_i = 4{,}6$ kΩ $= 4\,600\ \Omega$, $V_u = 8$; traži se: μ, $\mathfrak{R}_a$ i S_a. Iz jedn. (29) imamo: $\mu = 1/D = 1/0{,}11 = 9{,}1$. Iz jedn. (30) slijedi: $1 + (R_i/\mathfrak{R}_a) = \mu/V_u$, dakle: $4\,600/\mathfrak{R}_a = (9{,}1/8) - 1 = 0{,}14$, a odavle: $\mathfrak{R}_a = 4600/0{,}14 \approx 32\,800\ \Omega = 32{,}8$ kΩ. Vidimo dakle da vanjski otpor $\mathfrak{R}_a$ mora da bude oko 7 puta veći od unutarnjeg otpora elektronke. Konačno imamo iz jedn. (31): $S_a = V_u/\mathfrak{R}_a = 8/32\,800 = 0{,}00024$ A/V $= 0{,}24$ mA/V.

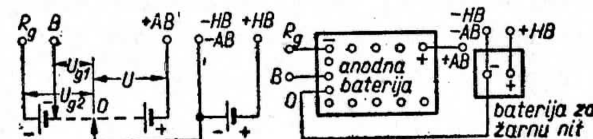
21. — Zadano je $S = 2{,}1$ mA/V $= 0{,}0021$ A/V, $R_i = 2$ MΩ $= 2\,000\,000\ \Omega$, $L = 0{,}1$ mH $= 10^{-4}$ H, $C = 400$ pF $= 4 \cdot 10^{-10}$ F, $R = 1{,}25\ \Omega$; traži se D, μ, V_u. Prema Barkhausenovoj jednadžbi (vidi dio I, jedn. 92) je $D = 1/(S \cdot R_i) = 1/(0{,}0021 \cdot 2\,000\,000) = 1/4200 = 0{,}000\,238 = 0{,}024\%$. Prema tome bit će po jedn. (29): $\mu = 1/0{,}000\,238 = 4\,200$(!). Ugođeni zaporni krug ima prema dijelu I, jedn. (56) rezonantni prividni otpor $\mathfrak{R}_a \approx L/(C \cdot R) = 10^{-4}/(4 \cdot 10^{-10} \cdot 1{,}25) = 10^6/5 = 200\,000 = 0{,}2$ MΩ. Time dobivamo iz jedn. (32), jer je $\mathfrak{R}_a = 0{,}2$ MΩ mnogo manje od $R_i = 2$ MΩ: $V_u \approx 0{,}0021 \cdot 200\,000 = 420$. Stvarno naponsko pojačanje, koje se dade postići, vrlo je veliko prema triodi, ali iznosi ipak samo desetinu pojačanja koje je teoretski moguće (vidi odsjek 59).

22. — Oktava odgovara odnosu frekvencija od 1 : 2, odnosno 2 : 1. Odnos frekvencija u našem slučaju je $5\,120/40 = 128 = 2^7$, a to je 7 oktava.

23. — Zadano je $\mathfrak{U}_1 = 2$ mV $= 0{,}002$ V, $V_1 = V_2 = 15$, $V_3 = 25$, $V_4 = 3$; traži se V_u, $\mathfrak{U}_2$. Iz odsjeka 66. slijedi: $V_u = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot V_4 = 15 \cdot 15 \cdot 25 \cdot 3 = 16\,875$. Iz toga slijedi: $\mathfrak{U}_2 = \mathfrak{U}_1 \cdot V_u = 0{,}002 \cdot 16\,875 = 33{,}75$ V.

24. — Zadano je $V_u = 1\,000$, $\mathfrak{U}_2 = 10$ V; traži se $\mathfrak{U}_1$. Ulazni izmjenični napon je $\mathfrak{U}_1 = \mathfrak{U}_2/V_u = 10/1\,000 = 0{,}010$ V $= 10$ mV. Budući da kondenzatorski, odnosno pojasni mikrofon daje prosječno, prema odsjeku 64. izmjenični napon od 1 do 5 mV, *neće* pojačalo biti kadro da proizvede izlazni izmjenični napon od 10 V.

25. — Spoj vidimo na slici uz rješenje, a oznake se slažu s oznakama na sl. 52. Negativne prednapone za rešetke U_{g1} i U_{g2} uzimamo iza zajedničke 0-tačke. Desna strana slike pokazuje praktičku izvedbu ovog spoja.



26. — Zadano je $I_a = 36$ mA $= 0{,}036$ A, $I_{g2} = 5$ mA $= 0{,}005$ A, $U_g = -6$ V; traži se R_k. Iz slike 72. slijedi: $U_g = (I_a + I_{g2}) \cdot R_k$, dakle $R_k = U_g/(I_a + I_{g2}) = 6/0{,}041 \approx 146\ \Omega$.

27. — Zadano je $U = 300$ V, $I_a = 0{,}8$ mA $= 0{,}0008$ A, $R_a = 0{,}2$ MΩ $= 2 \cdot 10^5\ \Omega$, $R_g = 0{,}7$ MΩ $= 7 \cdot 10^5\ \Omega$, $C_g = 20\,000$ pF $= 2 \cdot 10^{-8}$ F, $U_g = -4$ V, $R = 30$ kΩ $= 3 \cdot 10^4\ \Omega$, $C = 8\ \mu$F $= 8 \cdot 10^{-6}$ F, $\omega = 2\pi f = 200\,\pi$; traži se R_k, V, ΔU_a, U_a. Iz jedn. (72) imamo najprije: $R_k = U_g/I_a = 4/0{,}0008 = 5\,000\ \Omega = 5$ kΩ. Filtarski odnos zapora protiv reakcije je prema jedn. (17): $V = \omega RC = 200\,\pi \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 48\,\pi \approx 151$. Gubitak napona ΔU_a na otporu R zapora je: $\Delta U_a = I_a \cdot R = 0{,}8 \cdot 30 = 24$ V. Iz toga slijedi prema odsjeku 41.: $U_a = (U - I_a \cdot R_a) - \Delta U_a = 300 - 0{,}8 \cdot 200 - 24 = 116$ V. Za vremenske konstante dobivamo: $R_g \cdot C_g = 7 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-8} = 0{,}014$ i $R \cdot C = 3 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 0{,}24$; kako je $R \cdot C = 0{,}24$ veće od $6 \cdot R_g \cdot C_g = 0{,}084$, bit će zapor protiv reakcije (prema odsjeku 75.) *ispravno* odmjeren.

28. — Zadano je $R_i = 20$ kΩ $= 2 \cdot 10^4\ \Omega$, $R_a = 0{,}1$ MΩ $= 10^5\ \Omega$, $D = 3{,}3\% = 0{,}033$, $R_g = 1$ MΩ $= 10^6\ \Omega$, $f_u = 30$ Hz, $f_o = 10$ kHz $= 10\,000$ Hz, $R_k = 3$ kΩ $= 3\,000\ \Omega$; traži se V_u, C_g, C_s, C_k. Iz jedn. (33) dobivamo (jer je $R_i/R_a = 2 \cdot 10^4/10^5 = 0{,}2$): $V_u = 1/[0{,}033 \cdot (1 + 0{,}2)] = 30/1{,}2 = 25$. Iz odsjeka 78. slijedi: $C_g = 1/(\omega_u \cdot R_g) = 1/(2\pi \cdot 30 \cdot 10^6) = 10^{-6}/(60\pi)$ $F = 10^6/(60\pi)$ pF $\approx$

$\approx 5\,300$ pF (praktički ćemo uzeti 6 000 pF). Kako je $R_g = 10\,R_a$, bit će djelotvorni anodni otpor $R \approx R_a$. Iz odsjeka 81. slijedi zbog toga: $C_{\check{s}} \leq 1/(\omega_0 \cdot R) = 1/(2\pi \cdot 10\,000 \cdot 10^5) = 10^{-9}/(2\pi) \approx 159$ pF. Iz jedn. (34) dobivamo konačno: $C_k = 53\,000/3\,000 \approx 18\ \mu$F.

29. — Zadano je $f_h = 10$ kHz $= 10\,000$ Hz, $C_s = 20$ pF, $C_{gk} = 5$ pF, $C_{ak} = 4{,}5$ pF, $C_{ga} = 1{,}7$ pF, $V_u = 20$, $R_g = 0{,}8$ MΩ; traži se $C_{\check{s}}$, R, R_a. Iz jedn. (35) slijedi: $C_{\check{s}} = 20 + 5 + 4{,}5 + 1{,}7\,(1 + 20) = 29{,}5 + 35{,}7 = 65{,}2$ pF. Iz toga dobivamo prema odsjeku 81: $R \approx 1/(3\omega_h \cdot C_{\check{s}}) = 1/(3 \cdot 2\pi \cdot 10\,000 \cdot 65{,}2 \cdot 10^{-12}) = 10^8/(6\pi \cdot 65{,}2) \approx 81\,370\ \Omega \approx 81{,}4$ kΩ. Iz $R = R_a \cdot R_g/(R_a + R_g)$ slijedi: $R\,(R_a + R_g) = R_a \cdot R_g$, dakle: $R_a = R \cdot R_g/(R_g - R) = 81{,}4 \cdot 800/(800 - 81{,}4) \approx 90{,}6$ kΩ.

30. — Zadano je $R_i = 50$ kΩ $= 50\,000$ Ω, $f_u = 50$ Hz, $C_{\check{s}} = 30$ pF $= 30 \cdot 10^{-12}$ F; traži se L i f_r. Prema odsjeku 85. imamo: $R_i = 2\pi \cdot f_u \cdot L$, dakle: $L = R_i/(2\pi \cdot f_u) = 50\,000/(2\pi \cdot 50) = 500/\pi = 159$ H. Nadalje slijedi iz odsjeka 86.: $f_r = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{\check{s}}}) = 1/(2\pi \cdot \sqrt{159 \cdot 3 \cdot 10^{-11}}) = 10^5/(2\pi \cdot \sqrt{47{,}7}) = 2\,304$ Hz.

31. — Zadano je $R_i = 16$ kΩ $= 1{,}6 \cdot 10^4$ Ω, $\mu = 1/D = 30$, $f = 50$ Hz, $\omega = 2\pi \cdot f = 100 \cdot \pi$, $\ddot{u} = 1 : 3$, $L_1 = 80$ H; traži se V_u. Iz jedn. (29) i (38) dobivamo za pojačanje jednog jedinog stupnja pojačala: $V_u = 3 \cdot 30 \cdot 100 \cdot \pi \cdot 80/\sqrt{(1{,}6 \cdot 10^4)^2 + (100\,\pi \cdot 80)^2} = 2{,}26 \cdot 10^6/(2{,}98 \cdot 10^4) = 75{,}8$. Kako drugi stupanj pojačala ima isto pojačanje kao i prvi stupanj, dobivamo za ukupno pojačanje: $V_u = 75{,}8 \cdot 75{,}8 \approx 5\,746$.

32. — Zadano je $\mathfrak{R}_2 = 5$ Ω, $\mathfrak{R}_1 = 2\,300$ Ω; traži se $\ddot{u}$. Titrajna zavojnica zvučnika priključuje se prema sl. 68. na sekundarni namotaj izlaznog transformatora. Prikladnim izborom prijenosnog odnosa može se postići da otpor od 5 Ω u sekundarnom namotaju ima isto djelovanje kao otpor od 2 300 Ω u ulaznom namotaju. Iz jedn. (40) slijedi: $\ddot{u} = \sqrt{2\,300/5} = \sqrt{460} = 21{,}4 : 1$.

33. — Zadano je $\mathfrak{R}_1 = 0{,}4$ Ω, $\mathfrak{R}_2 = 0{,}1$ MΩ $= 100\,000$ Ω; traži se $\ddot{u}$. Prema jedn. (40) imamo: $\ddot{u} = \sqrt{0{,}4/100\,000} = 1 : \sqrt{100\,000/0{,}4} = 1 : \sqrt{250\,000} = 1 : 500$.

34. — Zadano je $\mu = 1/D = 30$, $R_i = 20$ kΩ $= 20\,000$ Ω, $\ddot{u} = 1 : 3$, $L_1 = 100$ H, $C = 0{,}1\ \mu$F $= 10^{-7}$ F, $R_a = 100$ kΩ $= 100\,000$ Ω; traži se f_r, ϱ i V_r. Zadatak se odnosi na spoj prema sl. 70. Najprije treba odrediti prema dijelu I jedn. (53): $\omega_r = 1/\sqrt{L_1 \cdot C} = 1/\sqrt{10^2 \cdot 10^{-7}} = \sqrt{10^5} = 316$; dakle: $f_r = 316/(2\pi) \approx 50$ Hz. Prema odsjeku 93. slijedi: $R = R_i \cdot R_a/(R_i + R_a) = 2\,000/120 = 16{,}7$ kΩ $= 16\,700$ Ω. Nadalje je prema jedn. (42): $\varrho = 316 \cdot 100/16\,700 = 1{,}9$, a prema jedn. (41): $V_r = 3 \cdot 30 \cdot 316 \cdot 100/20\,000 = 142$. Usporedi odsjek 93. (pod konac) i odsjek 71.

35. — Zadano je $f_u = 30$ Hz, $f_o = 12\,000$ Hz; $R_i = 15$ kΩ $= 15\,000$ Ω, $\ddot{u} = 1 : 3$; traži se L_1, C_n, f_r. Prema odsjeku 90. imamo: $R_i = 2\pi \cdot f_u \cdot L_1$, dakle: $L_1 = R_i/(2\pi \cdot f_u) = 15\,000/(2\pi \cdot 30) \approx 80$ H. Nadalje je prema odsjeku 95: $R_i = \ddot{u}^2/(\omega_o \cdot C_n)$, dakle: $C_n = \ddot{u}^2/(\omega_o \cdot R_i) = \ddot{u}^2/(2\pi \cdot f_o \cdot R_i) = 1/(9 \cdot 2\pi \cdot 12\,000 \cdot 15\,000) = 1/(3{,}24 \cdot \pi \cdot 10^9)$ F $= 1000/(3{,}24 \cdot \pi)$ pF ≈ 98 pF. Konačno prema odsjeku 96. imamo: $\omega_r^2 = \ddot{u}^2/(L_1 \cdot C_n) = 1/(9 \cdot 80 \cdot 98 \cdot 10^{-12}) = 10^{12}/70\,560$, dakle: $\omega_r = 10^6/265{,}6 = 3\,765$, tj.: $f_r = 3\,765/(2\pi) = 599$ Hz.

36. — Zadano je $L_1 = 120$ H, $\ddot{u} = 1 : 4$, $s = 2\% = 0{,}02$; traži se k, L_2, S, S_1 i S_2. Prema jedn. (47) dobivamo: $k = (2 - s)/2 = (2 - 0{,}02)/2 = 0{,}99 = 99\%$. Prema jedn. (43) bit će nadalje: $L_2 = L_1/\ddot{u}^2 = 120 \cdot 16 = 1920$ H. Prema jedn. (48) dobivamo: $S = 0{,}02 \cdot 120 = 2{,}4$ H. Konačno je prema jedn. (44): $S_1 = (1 - 0{,}99) \cdot 120 = 1{,}2$ H i prema jedn. (45): $S_2 = (1 - 0{,}99) \cdot 1920 = 19{,}20$ H.

37. — Zadano je $R_i = 10$ kΩ $= 10^4$ Ω, $\mu = 1/D = 15$, $\ddot{u} = 1 : 2$, $L_1 = 80$ H, $s = 1\% = 0{,}01$, $f_r = 12$ kHz $= 1{,}2 \cdot 10^4$ Hz; traži se C_n, ϱ i V_r. Iz uvjeta serijske rezonancije (vidi odsjek 99) $\omega_r \cdot s \cdot L_1 = \ddot{u}^2/(\omega_r \cdot C_n)$ slijedi: $C_n = \ddot{u}^2/(\omega_r^2 \cdot s \cdot L_1) = 1/[4 \cdot (2\pi \cdot 1{,}2 \cdot 10^4)^2 \cdot 0{,}01 \cdot 80] = 5{,}5 \cdot 10^{-11}$ F $= 55$ pF. Prema jedn. (50) imamo: $\varrho = \omega_r \cdot s \cdot L_1/R_i = 2\pi \cdot 1{,}2 \cdot 10^4 \cdot 0{,}01 \cdot 80/10^4 = 1{,}92 \cdot \pi = 6{,}03$. Traženo pojačanje je dakle 6,03-puta veće od najvećeg pojačanja $1/(\ddot{u} \cdot D)$ kod srednje frekvencije: $V_r = 6{,}03 \cdot 2 \cdot 15 = 181$.

38. — Zadano je $f_t = 50$ Hz, $f_h = 10\,000$ Hz, $L_1 = 60$ H, $C_n = 50$ pF $= 5 \cdot 10^{-11}$ F; traži se s, R_i, $\ddot{u}$. Prema jedn. (51) imamo: $s = f_t/f_h = 50/10\,000 = 0{,}005 = 0{,}5\%$. Prema odsjeku 101. dobivamo: $R_i \leq \omega_t \cdot L_1 = 2\pi \cdot 50 \cdot 60 = 6\,000 \cdot \pi = 18\,850\ \Omega = 18{,}85$ kΩ (isto dobivamo također iz jednadžbe: $R_i \leq (\omega_h \cdot s \cdot L_1)$. Prema odsjeku 101. bit će nadalje: $R_i \leq \ddot{u}^2/(\omega_h \cdot C_n)$ ili $\ddot{u}^2 \geq R_i \cdot \omega_h \cdot C_n = 18\,850 \cdot 2\pi \cdot 10\,000 \cdot 5 \cdot 10^{-11} = 0{,}0592$, dakle: $\ddot{u} \geq 0{,}243 = 1 : 4{,}1$.

39. — Zadano je $\ddot{u} = 20$, $R_a = 5$ Ω, $\mathfrak{U}_{aef} = 90$ V, $\mathfrak{U}_a = 90 \cdot \sqrt{2}$ V; traži se $\mathfrak{R}_a$ i $\mathfrak{U}'_{a\,ef}$. Prema jedn. (39) djeluje omski otpor $R_a = 5$ Ω kao omski otpor $R_a' = \ddot{u}^2 \cdot R_a = 400 \cdot 5 = 2\,000$ Ω u anodnom krugu elektronke.

Prema jedn. (52) bit će prema tome: $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{U}_a^2/(2 \cdot R_a) = (90 \cdot \sqrt{2})^2/(2 \cdot 2000) = 4{,}05$ W. Nadalje dobivamo prema jedn. (3): $\mathfrak{U}_a' = \mathfrak{U}_a/ü = 90 \cdot \sqrt{2}/20$, dakle: $\mathfrak{U}_{a\,ef}' = 90/20 = 4{,}5$ V.

40. — Zadano je $\mu = 1/D = 3{,}5$, $R_i = 1{,}4$ kΩ = 1 400 Ω, $\mathfrak{N}_a = 2$ W, $R_a = 3$ kΩ = 3 000 Ω, $R_a' = 4$ kΩ = 4 000 Ω. Traži se $\mathfrak{U}_g$ i $ü$. Prema jedn. (53) imamo:
$\mathfrak{U}_g^2 = \mathfrak{N}_a \cdot 2 \cdot D^2 \cdot (R_i + R_a)^2/R_a = 2 \cdot 2 \cdot (1/3{,}5)^2 \cdot (1\,400 + 3\,000)^2/3\,000 = (4/12{,}25) \cdot 19\,360/3 = 2\,107$, ili $\mathfrak{U}_g = \sqrt{2\,107} = 45{,}9$ V. Prijenosni odnos treba tako odabrati, da bi otpor $R_a' = 4\,000\ \Omega$ u anodnom krugu izlazne elektronke djelovao kao otpor $R_a = 3\,000\ \Omega$; prema jedn. (40) imamo: $ü = \sqrt{R_a/R_a'} = \sqrt{3\,000/4\,000} = 1 : \sqrt{1{,}33} = 1 : 1{,}15$. Napominjemo između ostaloga da u ovom zadatku n i j e R_a učinjen jednakim R_i.

41. — Zadano je $\mathfrak{U}_1 = 120$ V, $\mathfrak{U}_2 = 45$ V, $\mathfrak{U}_3 = 10$ V, $\mathfrak{U}_4 = 2$ V; traži se k, k_2, k_3 i k_4. Prema jedn. (54) dobivamo $k = \sqrt{(\mathfrak{U}_2^2 + \mathfrak{U}_3^2 + \mathfrak{U}_4^2)}/\mathfrak{U}_1 = \sqrt{45^2 + 10^2 + 2^2}/120 = \sqrt{2\,129}/120 = 0{,}384 = 38{,}4\%$. Nadalje imamo prema odsjeku 110. za pojedine nadvalove: $k_2 = \mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1 = 45/120 = 0{,}375 = 37{,}5\%$, $k_3 = \mathfrak{U}_3/\mathfrak{U}_1 = 10/120 = 0{,}083 = 8{,}3\%$ i $k_4 = \mathfrak{U}_4/\mathfrak{U}_1 = 2/120 = 0{,}017 = 1{,}7\%$.

42. — Zadano je (vidi sl. 82) $i_0 = 36$ mA, $i_1 = 10$ mA, $i_2 = 20{,}0$ mA, $i_3 = 55$ mA, $i_4 = 65{,}0$ mA; traži se $\mathfrak{I}_1$, $\mathfrak{I}_2$ i $\mathfrak{I}_3$. Prema jedn. (55), (56) i (57) imamo: $\mathfrak{I}_1 = [55{,}0 + 65{,}0 - (10{,}0 + 20{,}0)]/3 = 90{,}0/3 = 30{,}0$ mA. Nadalje: $\mathfrak{I}_2 = [72{,}0 - (10{,}0 + 65{,}0)]/4 = 3/4 = 0{,}75$ mA (negativni predznak zanemaren!) i konačno: $\mathfrak{I}_3 = [2(55{,}0 - 20{,}0) - (65{,}0 - 10{,}0)]/6 = 15/6 = 2{,}50$ mA. Iste su vrijednosti uzete u odsjeku 114.

43. — Zadano je $R_i = 1{,}4$ kΩ = 1 400 Ω, $\mathfrak{N}_a = 1{,}7$ W, $R_a = 2{,}5 \cdot R_i = 2{,}5 \cdot 1\,400\ \Omega = 3\,500\ \Omega$; traži se $\mathfrak{I}_1$. Prema jedn. (58) dobivamo: $\mathfrak{I}_1^2 = 2\,\mathfrak{N}_a/R_a = 3{,}4/3\,500 = 0{,}000\,971$, dakle: $\mathfrak{I}_1 = \sqrt{0{,}000\,971} = 0{,}0312 = 31{,}2$ mA.

44. — Za j e d n u izlaznu triodu RE 604 zadano je: $\mathfrak{N}_a = 1{,}7$ W, $N_a = 10$ W, $R_i = 1{,}4$ kΩ = 1 400 Ω, $R_a = 3{,}5$ kΩ = 3 500 Ω; traži se $\mathfrak{N}_a'$, N_a', η', R_a' za paralelni spoj dviju ovakvih trioda. Budući da su obje elektronke spojene paralelno, bit će: $\mathfrak{N}_a' = 2 \cdot \mathfrak{N}_a = 3{,}4$ W. Isto tako i $N_a' = 2 \cdot N_a = 20$ W. Prema tome je $\eta' = \mathfrak{N}_a'/N_a' = 3{,}4/20 = 0{,}17 = 17\%$, to jest toliko kao i η. Zbog paralelnog spoja bit će ukupni unutarnji otpor: $R_i' = R_i/2 = 700\ \Omega$. Kako je samo za jednu elektronku $R_a = 3\,500\ \Omega = 2{,}5 \cdot R_i$, dobivamo za najpovoljniji prilagodni otpor u paralelnom spoju elektronki $R' = 2{,}5 \cdot R_i' = 2{,}5 \cdot 700 = 1\,750\ \Omega = 1{,}75$ kΩ.

45. — Zadano je $U_{g1} = -6$ V, $U_{g2} = 250$ V, $I_a = 36$ mA = 0,036 A, $I_{g2} = 5$ mA = 0,005 A, $U = 270$ V, $R = 500\ \Omega$; traži se U_a, R_s i R_k. $U_a = U - I_a \cdot R = 270 - 0{,}036 \cdot 500 = 252$ V. Predotporom R_s treba sniziti napon za (270—250) = 20 V, dakle: $R_s = U_{g2}/I_{g2} = 20/0{,}005 = 4\,000\ \Omega = 4$ kΩ. Kroz katodni otpor R_k teče ukupna anodna struja i struja druge rešetke, dakle (vidi odsjek 72): $R_k = U_{g1}/(I_a + I_{g2}) = 6/0{,}041 = 146\ \Omega$, ili okruglo $R_k = 150\ \Omega$.

46. — Zadano je $\mathfrak{I}_1 = 30$ mA = 0,030 A, $R_a = 7$ kΩ = 7 000 Ω, $\mathfrak{U}_{g1} = 4{,}5$ V; traži se $\mathfrak{U}_a$ i V_u. Po Ohmovu zakonu bit će $\mathfrak{U}_a = \mathfrak{I}_1 \cdot R_a = 0{,}030 \cdot 7\,000 = 210$ V. Prema tome je: $V_u = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_g = 210/4{,}5 = 46{,}7$.

47. — Izlazna snaga proporcionalna je prema jedn. (53) k v a d r a t u izmjeničnog napona na rešetki. Kako je pri p o l o v i č n o m uzbuđenju izmjenični napon na rešetki samo p o l o v i c a onog napona koji odgovara punom uzbuđenju, bit će izlazna snaga j e d n a č e v r t i n a od 4 W, dakle 1 W.

48. — Zadano je $\mathfrak{N}_{L1} = 5$ W, $\mathfrak{N}_{L2} = 20$ W, $\mathfrak{N}_v = 25$ W, $\mathfrak{R}_{L1} = 2{,}5\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{L2} = 6\ \Omega$, $\mathfrak{R}_a = 200\ \Omega$. Traži se $\mathfrak{R}_{L1}'$, $\mathfrak{R}_{L2}'$, $ü_1$ i $ü_2$. Prema jedn. (50) dobivamo: $\mathfrak{R}_{L1}' = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{N}_{L1}) \cdot \mathfrak{R}_a = (25/5) \cdot 200 = 1\,000\ \Omega$. Nadalje je: $\mathfrak{R}_{L2}' = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{N}_{L2}) \cdot \mathfrak{R}_a = (25/20) \cdot 200 = 250\ \Omega$. Prema jedn. (40): $ü_1 = \sqrt{\mathfrak{R}_a/\mathfrak{R}_{L1}} = \sqrt{200/2{,}5} = \sqrt{80} = 8{,}9 : 1$ i $ü_2 = \sqrt{\mathfrak{R}_a/\mathfrak{R}_{L2}} = \sqrt{200/6} = \sqrt{33{,}3} = 5{,}8 : 1$.

49. — Zadano je $\mathfrak{N}_v = 18$ W, $\mathfrak{R}_{L1} = 900\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{L2} = 2250\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{L3} = 3\,000\ \Omega$ i $\mathfrak{R}_{L4} = 9\,000\ \Omega$. Traži se $\mathfrak{R}_a$, $\mathfrak{N}_{L1}$, $\mathfrak{N}_{L2}$, $\mathfrak{N}_{L3}$, $\mathfrak{N}_{L4}$. $1/\mathfrak{R}_L = 1/\mathfrak{R}_{L1} + 1/\mathfrak{R}_{L2} + 1/\mathfrak{R}_{L3} + 1/\mathfrak{R}_{L4} = 1/900 + 1/2\,250 + 1/3\,000 + 1/9\,000 = 1/500$, dakle $\mathfrak{R}_L = 500\ \Omega$. Prema tome treba i $\mathfrak{R}_a$ odabrati tako da bude $\mathfrak{R}_a = 500\ \Omega$. Izlazne snage dobit ćemo prema jedn. (59): $\mathfrak{N}_{Ln} = (\mathfrak{N}_v/\mathfrak{R}_{Ln}) \cdot \mathfrak{R}_a$, dakle $\mathfrak{N}_{L1} = (18/900) \cdot 500 = 10$ W, $\mathfrak{N}_{L2} = (18/2250) \cdot 500 = 4$ W, $\mathfrak{N}_{L3} = (18/3\,000) \cdot 500 = 3$ W i $\mathfrak{N}_{L4} = (18/9\,000) \cdot 500 = 1$ W.

50. — Zadano je $\mathfrak{N}_v = 25$ W, $\mathfrak{R}_{L1} = 200\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{L2} = 200\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{L3} = 500\ \Omega$. Traži se $\mathfrak{R}_a$, $\mathfrak{N}_{L1}$, $\mathfrak{N}_{L2}$, $\mathfrak{N}_{L3}$ i $\mathfrak{U}$. Iz slike uz ovaj zadatak slijedi: Budući da su $\mathfrak{R}_{L2}$ i $\mathfrak{R}_{L3}$ spojeni u seriju, dobiva se za oba ova zvučnika zajedno 700 Ω. Paralelno k ovome spojen je $\mathfrak{R}_{L1} = 200\ \Omega$, tako da je ukupni otpor za izmjeničnu struju: $\mathfrak{R}_L = 200 \cdot 700/(200 + 700) \approx 156\ \Omega$, a tome mora

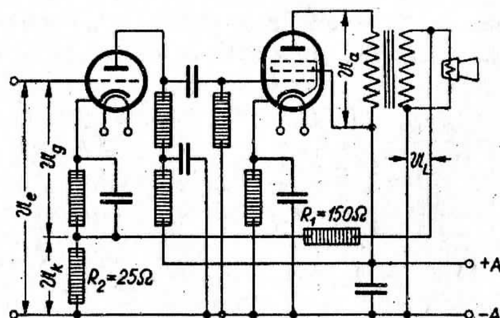
biti jednako i $\mathfrak{R}_a$. Prema jedn. (52) dobivamo: $\mathfrak{R}_v = \mathfrak{U}^2/(2\,\mathfrak{R}_a)$, to jest: $\mathfrak{U}^2 = 2 \cdot \mathfrak{R}_a \cdot \mathfrak{R}_v = 2 \cdot 156 \cdot 25 = 7\,800$, dakle, $\mathfrak{U} = 88{,}3$ V ili $88{,}3 \cdot 0{,}707 = 62{,}4\ V_{ef}$. Prema jedn. (59) imamo: $\mathfrak{R}_{Ln} = (\mathfrak{R}_v/\mathfrak{R}_{Ln}) \cdot \mathfrak{R}_a$, dakle za veliki zvučnik: $\mathfrak{R}_{L1} = (25/200) \cdot 156 = 19{,}5$ W. Budući da izmjenični napon od $62{,}4\ V_{ef}$ djeluje također na $(\mathfrak{R}_{L2} + \mathfrak{R}_{L3})$, nastaje na $\mathfrak{R}_{L2}$ pad napona: $\mathfrak{U}_{2ef} = (200/700) \cdot 62{,}4 = 17{,}8\ V_{ef}$, a na $\mathfrak{R}_{L3}$ bit će $\mathfrak{U}_{3ef} = (500/700) \cdot 62{,}4 = 44{,}6\ V_{ef}$. Za efektivne vrijednosti dobivamo: $\mathfrak{R} = \mathfrak{U}_{ef}^2/\mathfrak{R}_a$. Prema tome: $\mathfrak{R}_{L2} = 17{,}8^2/200 = 1{,}58$ W i $\mathfrak{R}_{L3} = 44{,}6^2/500 = 3{,}98$ W.

51. — Zadano je $f_0 = 50$ Hz, $L_1 = 25$ H, $R_1 = 0{,}1\ M\Omega = 10^5\ \Omega$. Traži se C_1 i $\mathfrak{R}_0$. Prema dijelu I, odsjeku 101. i jedn. (52) dobivamo: $C_1 = 1/(\omega_0^2 \cdot L_1) = 1/[(2\pi \cdot 50)^2 \cdot 25] = 1/[2{,}5 \cdot \pi^2 \cdot 10^5] = 4{,}05 \cdot 10^{-7}\ F \approx 0{,}4\ \mu F$. Privilni otpor rezonancije $\mathfrak{R}_0$ paralelnog spoja L_1, C_1, R_1 prema dijelu I, odsjeku 111, jednak je radnom otporu R_1 dakle: $\mathfrak{R}_0 = 0{,}1\ M\Omega$.

52. — Zadano je $f_0 = 9$ kHz $= 9\,000$ Hz, $C = 3\,000$ pF $= 3 \cdot 10^{-9}$ F; traži se L. Prema dijelu I, jedn. (52) slijedi za slučaj rezonancije: $L = 1/(\omega_0^2 \cdot C) = 1/[(2\pi \cdot 9 \cdot 10^3)^2 \cdot 3 \cdot 10^{-9}] = 10^9/[0{,}972 \cdot \pi^2 \cdot 10^9] = 0{,}104$ H.

53. — Zadano je $V_u = 30$, $\mathfrak{U}_g = 12$ V, $R_1 = 500$ kΩ; traži se V_u', $\mathfrak{U}_e$, R_2. Budući da faktor izobličenja treba sniziti na jednu trećinu, bit će pojačanje napona prema odsjeku 140: $V_u' = 10$. Prema jedn. (61) imamo: $\mathfrak{U}_e = (30/10) \cdot 12 = 36$ V. Prema jedn. (60) imamo: $10 = 30/(1 + \alpha \cdot 30)$, dakle: $\alpha = 1/15$. Prema odsjeku 139. je nadalje: $\alpha = 1/15 = R_2/(R_1 + R_2)$, a iz ovoga: $R_2 = R_1/14 = 500/14 = 35{,}7$ kΩ.

54. — Zadano je $V_u = 700$, $R_1 = 150\ \Omega$, $R_2 = 25\ \Omega$, $ü = 20$, $\mathfrak{U}_e = 15$ V; traži se V_u', k', $\mathfrak{U}_g$. Spoj za rješenje ovog zadatka odgovara spoju prema



sl. 106. (usporedi također sl. 56). Prema odsjeku 139. dobivamo: $\alpha = R_2/(R_1 + R_2) = 25/(150 + 25) = 1/7$. Prema jedn. (60) uzevši u obzir

opasku u odsjeku 141: $V_u' = V_u/[1 + (\alpha/ü) \cdot V_u] = 700/\{1 + [1/(7 \cdot 20)] \cdot 700\} = 117$. Time je: $V_u'/V_u = 1/6$, to jest faktor izobličenja k' smanjit će se također na jednu šestinu prvotne vrijednosti. Prema jedn. (60) imat ćemo nadalje: $\mathfrak{U}_g = (V_u'/V_u) \cdot \mathfrak{U}_e = (1/6) \cdot 15 = 2{,}5$ V.

55. — Zadano je $\mathfrak{R}_a = 2{,}3$ k$\Omega = 2\,300\ \Omega$ po izlaznoj elektronki $\mathfrak{R}_L = 10\ \Omega$; traži se $ü_1$, $ü_2$, $ü_3$. Za *običan izlazni stupanj* bit će prema jedn. (40): $ü_1 = \sqrt{\mathfrak{R}_a/\mathfrak{R}_L} = \sqrt{2\,300/10} = 15{,}2 : 1$. U *paralelnom spoju* dviju elektronki bit će $\mathfrak{R}_a' = \mathfrak{R}_a/2 = 1\,150\ \Omega$ (vidi odsjek 144); prema tome će biti $ü_2 = \sqrt{1\,150/10} = 10{,}7 : 1$. U *protufaznom spoju* bit će $\mathfrak{R}_a'' = 2 \cdot \mathfrak{R}_a = 4\,600\ \Omega$ (vidi odsjek 146), dakle: $ü_3 = \sqrt{4600/10} = 21{,}4 : 1$.

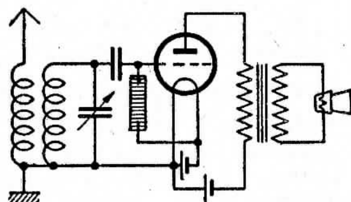
56. — Zadano je $I_{a1} = 2{,}5$ mA $= 0{,}0025$ A, $I_{a2} = I_{a3} = 60$ mA $= 0{,}060$ A, $U_{g1} = 4{,}0$ V, $U_{g2} = U_{g3} = 48$ V, $R_{Dr} = 300\ \Omega$, $U = 350$ V, $R_{AT} = 500\ \Omega$; traži se R_1, R_4, R_5, C_1, C_8, C_9, U_{Dr}, U_a. Prema odsjeku 72. imamo: $R_1 = U_{g1}/I_{a1} = 4{,}0/0{,}0025 = 1\,600\ \Omega = 1{,}6$ kΩ. Nadalje je $R_4 = R_5 = 48/0{,}060 = 800\ \Omega$. Veličinu kondenzatora C_1, C_8 i C_9 treba izračunati na temelju razmatranja u odsjeku 79; iz jedn. (34) dobivamo: $C_1 = 53\,000/R_1 = 53\,000/1\,600 \approx 33\ \mu F$ (okruglo oko 40 μF), $C_8 = C_9 = 53\,000/800 \approx 66\ \mu F$ (oko 70 μF). Pad istosmjernog napona na prigušnici Dr bit će: $U_{Dr} = (I_{a1} + I_{a2}) \cdot R_{Dr} = 0{,}1225 \cdot 300 = 36{,}75\ V \approx 37$ V. Aktivni istosmjerni napon na anodi U_a izlazne elektronke (prema žarnoj niti) bit će: $U_a = U - U_{Dr}$ — pad istosmjernog napona u polovici izlaznog namotaja izlaznog transformatora — $U_{g3} = 350 - 37 - 0{,}060 \cdot 250 - 48 = 250$ V.

57. — Zadano je $\mathfrak{R}_{a1} = \mathfrak{R}_{a2} = 10$ W, $N_{v1} = 2 \cdot 15 = 30$ W; traži se N_{a1}, N_{v2}, N_{a2}. Prema odsjeku 106. dobivamo za *protufazno A pojačalo*: $N_{a1} = \mathfrak{R}_{a1} + N_{v1} = 10 + 30 = 40$ W. Za *protufazno B-pojačalo* bit će anodna snaga gubitka u n a j p o v o l j n i j e m slučaju samo *jedna petina* one kod A-pojačala, dakle: $N_{v2} = (1/5) \cdot N_{v1} = 6$ W, to jest samo 3 W po elektronki. Prema tome bit će: $N_{a2} = \mathfrak{R}_{a2} + N_{v2} = 10 + 6 = 16$ W.

58. — Zadano je $\mathfrak{R}_{a1} = 1{,}5$ k$\Omega = 1\,500\ \Omega$, $\mathfrak{R}_L = 5\ \Omega$, $\mathfrak{R}_{a2} = 6$ k$\Omega = 6\,000\ \Omega$; traži se $ü_1$ i $ü_2$. Kako u *protufaznom B-pojačalu* u svakom času radi samo po jedna od dviju izlaznih elektronki, spojena je na izvjestan način uvijek samo po jedna elektronka preko polovice ulaznog namotaja izlaznog transformatora. Da bi svaka od obiju izlaznih elektronki bila opterećena s najpovoljnijim prilagodnim otporom $\mathfrak{R}_{a1}$, može za prijenosni odnos vrijediti: $ü_1' = (w_1/2) : w_2 = (1/2) \cdot w_1/w_2 = (1/2) \cdot ü_1 = \sqrt{\mathfrak{R}_{a1}/\mathfrak{R}_L}$ (vidi jedn. 40) to jest: $ü_1 = 2\sqrt{\mathfrak{R}_{a1}/\mathfrak{R}_L} = 2\sqrt{1\,500/2} = 34{,}6 : 1$. Za *protufazno A-pojačalo* ukupni je najpovoljniji prilagodni otpor prema odsjeku 146. jednak $2\ \mathfrak{R}_a = 12\,000\ \Omega$. Prema tome dobivamo: $ü_2 = \sqrt{2\,\mathfrak{R}_{a2}/\mathfrak{R}_L} = \sqrt{12\,000/5} = 49{,}0 : 1$.

59. — Ovaj ćemo zadatak rješavati na temelju sl. 120. Područje napona rešetke, u kojem je elektronka bez uzbuđenja, proteže se od 14 do 10 V, dakle 14 — 10 = 4 V. Prema odsjeku 158, *najmanja* visokofrekventna amplituda smije iznositi samo 2 V. Budući da vrhovi uzbudnog napona smiju dosezati do napona rešetke — 1 V, a prednapon rešetke iznosi — 12 V, *najveća* amplituda ne smije biti veća od (12 — 1) = 11 V. Ako prema dijelu I, sl. 141. označimo amplitudu prijenosnog vala sa A, a amplitude modulacije sa $2a$, bit će $A - 2a = 2$ V i $A + 2a = 11$ V. Zbrojivši ova dva izraza dobivamo: $2A = 13$ V, dakle $A = 6{,}5$ V. Odbivši gornja dva izraza dobivamo: $4a = 9$, to jest $2a = 4{,}5$ V. Prema dijelu I, jedn. (78) dobivamo kao maksimalni postotak modulacije: $m = 2a/A = 4{,}5/6{,}5 = 0{,}692 \approx$ 69%.

60. — Rješenje ovog zadatka prikazano je slikom. Induktivna antenska veza učinjena je prema dijelu I, sl. 149-b), audionski spoj prema sl 121, a transformatorska veza prema sl. 78.

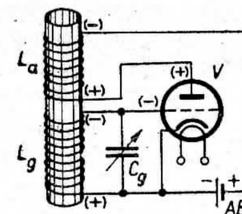


61. — Zadano je $V_u = 25$, $\mathfrak{U}_{HF} = 10\ V_{ef}$, $m = 40\%$. Traži se $\mathfrak{U}_{NF}$, $\mathfrak{U}_a$, V_u'. Prema sl. 128 dobivamo za $\mathfrak{U}_{HF} = 10\ V_{ef}$ i $m = 30\%$ niskofrekventni napon od 3 V_{ef}. Kako je ovdje $m = 40\%$, mora da bude $\mathfrak{U}_{NF} = 4\ V_{ef}$. Nadalje je: $\mathfrak{U}_a = V_u \cdot \mathfrak{U}_{NF} = 25 \cdot 4 = 100\ V_{ef}$. Iz ovoga dobivamo: $V_u' = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{U}_{HF} = 100/10 = 10$.

62. — Zadano je $\mathfrak{U}_{NF} = 5\ V_{ef}$, $m = 30\%$. Traži se $\mathfrak{U}_{HF}$. Prema sl. 128. imamo: $\mathfrak{U}_{HF} = 17\ V_{ef}$. Budući da je izlazna snaga izlazne elektronke proporcionalna (prema jedn. 53) k v a d r a t u izmjeničnog napona na rešetki, potreban je za 2 puta manju izlaznu snagu $\sqrt{2}$ puta manji uzbudni napon. Zbog p r a v o c r t n e karakteristike na sl. 128. bit će: $\mathfrak{U}_{HF} = 17/\sqrt{2} = 12\ V_{ef}$.

63. — Zadano je $R_g = 1\ M\Omega$, $m = 70\%$. Traži se R, R', R''. Prema odsjeku 168. dobivamo: $m \leqq (\mathfrak{R}/R) \cdot 100\% \leqq [R \cdot R_g/(R+R_g) \cdot R] \cdot 100\%$, dakle: $(R+R_g) \cdot m \leqq R_g \cdot 100$, to jest: $R \leqq (R_g \cdot 100/m) - R_g \leqq (1 \cdot 100/70) - 1 \leqq \leqq 0{,}43\ M\Omega \leqq 430\ k\Omega$. U paralelnom spoju: $R' = R/3 = 143\ k\Omega$ i u serijskom spoju: $R'' = R/2 = 215\ k\Omega$.

64. — Spoj je prikazan na slici i odgovara u osnovi spoju sa sl. 132. Kako su zavojnice u krugu anode i u krugu rešetke namatane u i s t o m smislu, moraju njihovi krajevi, da se postignu ispravni fazni odnosi, biti priključeni kao na slici (vidi svršetak odsjeka 172).



65. — Zadano je $S = 2$ mA/V $= 2 \cdot 10^{-3}$ A/V, $R_i = 12\ k\Omega = 1{,}2 \cdot 10^4\ \Omega$, $L = 0{,}1$ mH $= 10^{-4}$ H, $C = 200$ pF $= 2 \cdot 10^{-10}$ F, $R = 1{,}5\ \Omega$, $-\mathfrak{U}_a = 25$ V. Traži se $\mathfrak{K}$, $\mathfrak{U}_k$, $\mathfrak{B}$. Iz jednadžbe (64) slijedi $D = 1/(S \cdot R_i) = 1/(2 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}2 \cdot 10^4) = 0{,}042$ (vidi dio I, jedn. (92) i $\mathfrak{R}_a = L/(C \cdot R) = 10^{-4}/(2 \cdot 10^{-10} \cdot 1{,}5) = 3{,}33 \cdot 10^5\ \Omega$ (vidi dio I, jedn. (56): $\mathfrak{K} = 0{,}042 + [1/(2 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}33 \cdot 10^5)] = 0{,}042 + 0{,}0015 \approx 0{,}044 = 4{,}4\%$. Iz odsjeka 173. i jedn. (62) slijedi: $\mathfrak{U}_k = \mathfrak{U}_g = (-\mathfrak{U}_a) \cdot \mathfrak{K} \doteq 25 \cdot 0{,}044 = 1{,}1$ V, a prema jedn. (63) : $\mathfrak{B} = 1/\mathfrak{K} = 1/0{,}044 = 22{,}7$.

66. — Zadano je $\mathfrak{U}_g = 0{,}16$ V, $\mathfrak{B} = 21$; traži se $\mathfrak{U}_e$ i $\mathfrak{K}$. Kako pojačanje mora biti osam puta veće, to prema odsjeku 177. mora biti: $\mathfrak{U}_e = \mathfrak{U}_g/8 = 0{,}16/8 = 0{,}02$ V $= 20$ mV. Tada je prema jedn. (65): $0{,}02 = (1 - 21 \cdot \mathfrak{K}) \cdot 0{,}16$, dakle: $21\,\mathfrak{K} = 1 - (0{,}02/0{,}16) = 7/8$, tj.: $\mathfrak{K} = 0{,}042 = 4{,}2\%$.

67. — U reakcionom spoju prema sl. 137. i 138. upotrijebljeni su elementi ovih vrijednosti: Promjenljivi kondenzator titrajnog kruga $C = 500$ pF, reakcioni kondenzator $C_r = 250$ do 500 pF, kondenzator rešetke $C_g = 100$ do 200 pF, odvodni otpor rešetke $R_g = 0{,}5$ do 1 MΩ, visokofrekventna prigušnica $HFD = 30$ do 40 mH.

68. — Zadano je $\mathfrak{U}_g = 0{,}10\ V_{ef}$, $\varrho = 10$. Traži se $\mathfrak{U}$ i $\mathfrak{U}'$. Budući da titrajni krug rešetke ima oštrinu rezonancije $\varrho = 10$, povisuje on izmjenični napon rešetke rezonancijom na desetorostruk iznos. Isto će tako uzrokovati i smanjenje prigušenja povišenje izmjeničnog napona rešetke na isti iznos. Da bismo dakle došli do izmjeničnog napona rešetke $\mathfrak{U}_g = 0{,}10\ V_{ef}$, mora izmjenični napon što ga daje antena iznositi *bez* reakcije: $\mathfrak{U} = 0{,}10/10 = 0{,}010\ V_{ef} = 10\ mV_{ef}$, a sa reakcijom: $\mathfrak{U}' = 0{,}10/(10 \cdot 10) = 0{,}001\ V_{ef} = 1\ mV_{ef}$.

69. — Zadano je $R_i = 60\ k\Omega = 60\,000\ \Omega$, $R_i' = 15\ k\Omega = 15\,000\ \Omega$, $S = 2{,}2$ mA/V $= 0{,}0022$ A/V, $\mu' = 44$, $\mathfrak{R}_a = 8\ k\Omega = 8\,000\ \Omega$, $\mathfrak{R}_a = 40\ k\Omega =$

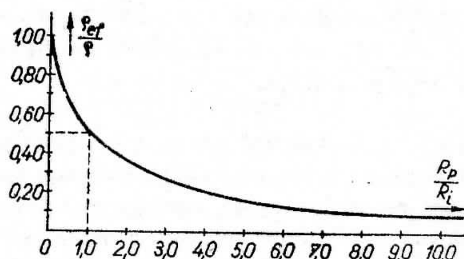
$= 40\,000\ \Omega$, $\ddot{u} = 1:4$, $\mathfrak{R}_a = 50$ mW $= 0{,}050$ W; traži se $\mathfrak{U}_g'$. Pentoda daje prema odsjeku 104. anodni izmjenični nakon: $\mathfrak{U}_a \sqrt{\mathfrak{R}_a \cdot \mathfrak{R}_a} = \sqrt{8\,000 \cdot 0{,}050} = \sqrt{400} = 20$ V_{ef}. Naponsko pojačanje V_u pentode je prema jedn. (26) (uz $1/D = S \cdot R_i = 0{,}0022 \cdot 60\,000 = 132$): $V_u = 132 \cdot 8\,000/(60\,000 + 8\,000) = 15{,}5$. Izmjenični napon rešetke pentode je prema tome: $\mathfrak{U}_g = 20/15{,}5 = 1{,}3$ V_{ef}. Kako je prijenosni odnos niskofrekventnog transformatora 1 : 4, anodni izmjenični napon triode je $\mathfrak{U}_a' = 1{,}3/4 = 0{,}33$ V_{ef}. Tome odgovara prema jedn. (26), odn. (30), izmjenični napon rečetke: $\mathfrak{U}_g' = \mathfrak{U}_a'/V_u' = 0{,}33/V_u' = \frac{0{,}33}{\mu}\left(1 + \frac{R_i'}{\mathfrak{R}_a'}\right) = \frac{0{,}33}{44}\left(1 + \frac{15\,000}{40\,000}\right) = \frac{0{,}33}{44} \cdot 1{,}375 = 0{,}01$ V_{ef} $=$ <u>10 mV_{ef}</u>.

70. — Zadano je $\mathfrak{U}_{aef} = 100$ V_{ef}, $V_u = 10\,000$, $V_u' = 200$; traži se $\mathfrak{U}_{eef}$. Ukupno naponsko pojačanje je: $V_u \cdot V_u' = 2\,000\,000$, pa onda vrijedi: $\mathfrak{U}_{eef} = \mathfrak{U}_{aef}/2\,000\,000 = 100/2\,000\,000 = 0{,}000050$ $V_{ef} = 50\ \mu V_{ef}$.

71. — Zadano je $\mathfrak{U}_{eef} = 25\ \mu V_{ef} = 25 \cdot 10^{-6}$ V_{ef}, $\mathfrak{R}_a = 50$ mW $= 0{,}050$ W, $\mathfrak{R}_a = 4$ k$\Omega = 4\,000\ \Omega$; traži se V_u. Na $\mathfrak{R}_a$ nastaje prema odsjeku 104. izmjenični napon: $\mathfrak{U}_{aef} = \sqrt{\mathfrak{R}_a \cdot \mathfrak{R}_a} = \sqrt{4000 \cdot 0{,}050} = 14{,}1$ V_{ef}. Prema tome je $V_u = \mathfrak{U}_{aef}/\mathfrak{U}_{eef} = 14{,}1/(25 \cdot 10^{-6}) =$ <u>564 000</u>.

72. — Zadan je odnos R_p/R_i; traži se odnos ϱ_{ef}/ϱ. Iz jedn. (66) imamo $\varrho_{ef}/\varrho = 1/(R_p/R_i + 1)$ Odavde dobivamo tablicu:

$R_p = 0{,}1\ R_i$	$0{,}2\ R_i$	$0{,}5\ R_i$	R_i	$2{,}0\ R_i$	$5{,}0\ R_i$	$10{,}0\ R_i$
$\frac{R_p}{R} = 0{,}10$	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00	10,0
$\frac{\varrho_{ef}}{\varrho} = 0{,}91$	0,83	0,67	0,50	0,33	0,17	0,09



Iz priložene krivulje vidi se da ϱ_{ef} za $R_p = R_i$ pada na vrijednost $\varrho/2$, ali ako je R_p mnogo veće od R_i (na primjer $R_p = 4\ R_i$), ne pada ϱ_{ef} više tako brzo kao u početku. Za $R_p = 10\ R_i$ padne ϱ_{ef} na oko $\varrho/10$.

73. — Zadano je $f = 800$ kHz $= 8 \cdot 10^5$ Hz, $C = 360$ pF $= 3{,}6 \cdot 10^{-10}$ F, $R_p = 200$ k$\Omega = 200\,000\ \Omega$, $R_i = 2$ M$\Omega = 2 \cdot 10^6\ \Omega$, $S = 2{,}1$ mA/V $= 0{,}0021$ A/V; traži se $\mathfrak{R}_0$, ϱ_{ef}, V_u. Prema odsjeku 203. je djelotvorni

rezonantni otpor zapornog kruga $\mathfrak{R}_o = R = R_p \cdot R_i/(R_p + R_i) = (2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^6)/(2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^6) = 4 \cdot 10^5/2{,}2 = 1{,}82 \cdot 10^5\ \Omega =$ <u>182 kΩ</u>. Iz odsjeka 203. slijedi dalje zbog $\omega^2 LC = 1$ (dio I, jedn. 52) : $\varrho_{ef} = \frac{R_p \cdot R_i}{R_p + R_i}\sqrt{\frac{C}{L}} = R\sqrt{C \cdot \omega^2 C} = R \cdot \omega C = 1{,}82 \cdot 10^5 \cdot 2\pi \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-10} = 104{,}8\,\pi = 329$. Kako je $\mathfrak{R}_a = R_p$, to je prema jedn. (32): $V_u \approx S \cdot R_p = 0{,}0021 \cdot 2 \cdot 10^5 =$ <u>420</u>.

74. — Zadano je $\mu = 4\,000$, $R_i = 2$ M$\Omega = 2 \cdot 10^6\ \Omega$, $L = 0{,}15$ mH $= 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ H, $C = 200$ pF $= 2 \cdot 10^{-10}$ F, $R_p = 100$ k$\Omega = 10^5\ \Omega$; traži se $\ddot{u}_0$, V_{um}, ϱ_{ef}, ϱ, V_{um} ϱ_{ef}'. U slučaju paralelne rezonancije imamo, prema odsjeku 205.: $\mathfrak{R}_0 = R_p = 10^5\ \Omega$ pa onda iz jedn. (68) slijedi: $\ddot{u}_0 = \sqrt{2 \cdot 10^6/10^5} = \sqrt{20} =$ <u>4,5 : 1</u>. Iz jedn. (29) i odsjeka 205. dobivamo: $V_{um} = \mu/(2 \cdot \ddot{u}_0) = 4\,000/(2 \cdot 4{,}5) =$ <u>444</u>. Prema odsjeku 206, je $\varrho_{ef} = \varrho/2$, kad transformator ima najpovoljniji prijenosni odnos $\ddot{u}_0$. Iz jedn. (60) dio I slijedi dalje: $\varrho = R_p\sqrt{C/L} = 10^5\sqrt{2 \cdot 10^{-10}/(1{,}5 \cdot 10^{-4})} =$ <u>115</u>, pa je prema tome $\varrho_{ef} = 115/2 =$ <u>57,5</u>. Za $\ddot{u} = \ddot{u}_0/2 = 2{,}25$ imamo prema jedn. (67): $V_{um}' = (4000/2{,}25)/\{1 + [2 \cdot 10^6/(5{,}1 \cdot 10^5)]\} = 4000/[2{,}25(1 + 3{,}9)] =$ <u>363</u>, a prema jedn. (69): $\varrho_{ef}' = 115/\{1 + [10^5 \cdot 5{,}1/(2 \cdot 10^6)]\} = 115/(1 + 0{,}25) =$ <u>92</u>, to jest mnogo veće od ϱ, iako je V_{um}' samo oko 0,8 V_{um}.

75. — Zadano je $\mu = 4000$, $R_i = 2 \cdot 10^6\ \Omega$, $L = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ H, $C = 2 \cdot 10^{-10}$ F, $R_p = 10^5\ \Omega$; traži se V_{um} i ϱ_{ef}. U jednostavnoj vezi zapornim krugom je $\ddot{u} = 1$. Uz $\mathfrak{R}_0 = R_p$ slijedi iz jedn. (67): $V_{um} = 4\,000/(1 + 10^6/10^5) = 4\,000/21 =$ <u>190</u>. Iz jedn. (66) slijedi: $\varrho_{ef} = \varrho \cdot 2 \cdot 10^6/(10^5 + 2 \cdot 10^6) = \varrho \cdot 2/2{,}5 = 0{,}8\,\varrho = 0{,}8 \cdot 115 =$ <u>92</u> (vidi rješenje zadatka 74). Odavde se vidi prednost transformatorskog pojačanja. U zadatku 74. imali smo uz jednaki ϱ_{ef} naponsko pojačanje 363.

76. — Zadano je $C_1 = C_2 = C = 200$ pF $= 2 \cdot 10^{-10}$ F, $b = 9$ kHz, $f_0 = 1$ MHz $= 10^6$ Hz. Traži se k, C_k, $L_1 = L_2 = L$. Obje vezne frekvencije su: $f_1 = 1000 - 4{,}5 = 995{,}5$ kHz i $f_2 = 1000 + 4{,}5 = 1004{,}5$ kHz. Dijeljenjem obiju jednadžbi (84) iz dijela I dobivamo: $f_1/f_2 = \sqrt{(1-k)/(1+k)} = 995{,}5/1004{,}5 = 0{,}991$, a odavle: $1 - k = 0{,}982\,(1 + k)$, to jest $k = 0{,}0091 =$ <u>0,91%</u>. Iz odsjeka 213. slijedi: $k = C/(C + C_k)$, dakle: $C_k = C\,(1-k)/k = 200 \cdot 0{,}9909/0{,}0091 =$ <u>21 800 pF</u>. Iz Thomsonove formule slijedi: $L = 1/(\omega_0^2 \cdot C) = 1/(4\pi^2 \cdot 10^{12} \cdot 2 \cdot 10^{-10}) = 0{,}00013$ H $=$ <u>0,13 mH</u>.

77. — Zadano je $C_1 = C_2 = C = 100$ pF $= 10^{-10}$ F, $R_p = 900$ k$\Omega = 9 \cdot 10^5\ \Omega$, $R_i = 1$ M$\Omega = 10^6\ \Omega$, $S = 2$ mA/V $= 0{,}002$ A/V, $f_0 = 470$ kHz $= 4{,}7 \cdot 10^5$ Hz, $R = 200$ k$\Omega = 2 \cdot 10^5\ \Omega$; traži se $L_1 = L_2 = L$, $\mathfrak{R}_{1ef}$, $\mathfrak{R}_{2ef}$, ϱ_{1ef}, ϱ_{2ef}, $\mathfrak{R}_{aef}$, ϱ_{ef}, V_u. Iz Thomsonove jednadžbe slijedi: $L = 1/(\omega_0^2 \cdot C) =$

$= 1/(4\pi^2 \cdot 22{,}1 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-10}) = 0{,}00115$ H $= 1{,}15$ mH. Iz paralelnog spoja $\mathfrak{R}_0 = R_p$ i R_i slijedi (v. odsjek 211): $\mathfrak{R}_{1ef} = R_p \cdot R_i/(R_p + R_i) = 4{,}74 \cdot 10^5\,\Omega = 474\,k\Omega$, a isto tako i: $\mathfrak{R}_{2ef} = R_p \cdot R/(R_p + R) = 1{,}64 \cdot 10^5\,\Omega = 164\,k\Omega$, što daje: $\mathfrak{R}_{aef} = \sqrt{474 \cdot 164} = 279\,k\Omega$. Prema jedn. (66) imamo dalje: $\varrho_{1ef} = \varrho \cdot R_i/(R_p + R_i) = 0{,}526\,\varrho$. Samu veličinu ϱ možemo izračunati iz jedn. (60), dio I: $\varrho = \omega_0 C R_p = 2\pi \cdot 4{,}7 \cdot 10^5 \cdot 10^{-10} \cdot 9 \cdot 10^5 = 266$, pa je onda $\varrho_{1ef} = 0{,}526 \cdot 266 = 140$, a $\varrho_{2ef} = \varrho \cdot R/(R_p + R) = 48{,}4$. Prema odsjeku 210. je onda: $\varrho_{ef} = \sqrt{140 \cdot 48{,}4} = 82{,}3$, a prema jedn. (71): $V_u = 0{,}5 \cdot 0{,}002 \cdot 279\,000 = 279$.

78. — Zadano je $f_0 = 800$ kHz $= 8 \cdot 10^5$ Hz, $L_1 = L_2 = L = 0{,}2$ mH $= 2 \cdot 10^{-4}$ H, $C_k = 40\,000$ pF $= 4 \cdot 10^{-8}$ F, $b = 9$ kHz $= 9 \cdot 10^3$ Hz; traži se L_k. Iz odsjeka 214. preinačivanjem jednadžbe za b dobivamo:

$$L_k = \frac{L}{f_0}\left(b - \frac{1}{f_0} \cdot \frac{1}{4\pi^2 \cdot L\,C_k}\right) = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^5}\left(9 \cdot 10^3 - \frac{1}{8 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{4\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-8}}\right) =$$

$= 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ H $= 1{,}26\,\mu$H.

79. — Zadano je $U_a = 250$ V, $U_{g2} = 100$ V, $U_{g2}' = 125$ V, $I_{g2} = 2{,}5$ mA $= 0{,}0025$ A, $I_q = 2\,I_{g2} = 0{,}0050$ A; traži se R_1, R_2, U_{g2}'' i I_q'. Po Ohmovom zakonu je: $R_1 = U_{g2}/I_q = 100/0{,}0050 = 20\,k\Omega$ (vidi sl. 165), pa se mora uzeti i $R_2 = (U_a - U_{g2})/(I_q + I_{g2}) = 150/0{,}0075 = 20\,000\,\Omega = 20\,k\Omega$. Kod najniže regulacije na dolje je $I_{g2} \approx 0$, pa je onda: $U_{g2}''/U_a = R_1/(R_1 + R_2)$, tj. $U_{g2}'' = (U_a \cdot R_1)/(R_1 + R_2) = 250 \cdot 20\,000/40\,000 = 125$ V. Kako je $U_{g2}'' = U_{g2}'$, neće elektronka biti preopterećena! Konačno je: $I_q' = U_{g2}''/R_1 = 0{,}00625$ A $= 6{,}25$ mA.

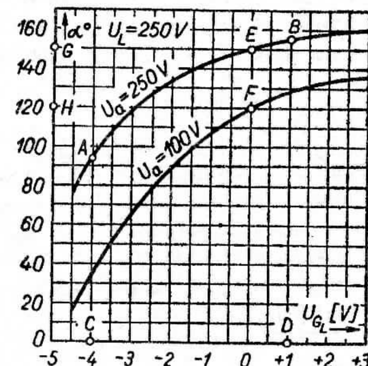
80. — Zadano je $S = 1{,}8$ mA/V $= 1{,}8 \cdot 10^{-3}$ A/V, $S' = 2{,}1$ mA/V $= 2{,}1 \cdot 10^{-3}$ A/V, $\mathfrak{R}_a = 250\,k\Omega = 2{,}5 \cdot 10^5\,\Omega$, $\mathfrak{R}_a' = 100\,k\Omega = 10^5\,\Omega$, $R_a = 0{,}5\,M\Omega$, $\mathfrak{U}_{g1} = 100\,\mu V = 10^{-4}$ V; traži se V_u, U_R. Iz odsjeka 66. i jedn. (32) slijedi: $V_u = S \cdot \mathfrak{R}_a \cdot S' \cdot \mathfrak{R}_a' = 9{,}45 \cdot 10^4 = 94\,500\,\Omega$. Odavde slijedi da je izmjenični napon na diodnom ispravljaču: $\mathfrak{U}_{HF} = \mathfrak{U}_{g1} \cdot V_u = 10^{-4} \cdot 9{,}45 \cdot 10^4 = 9{,}45$ V, tj. $9{,}45 \cdot 0{,}707 = 6{,}7\,V_{ef}$. Tako prema sl. 129. dobivamo porast istosmjernog napona od nekih $\Delta U_R = 8{,}5$ V. Kako početni napon prema odsjeku 225, za $R_a = 0{,}5\,M\Omega$, iznosi oko 1 V, bit će napon regulacije $U_R = 8{,}5 + 1 = 9{,}5$ V.

81. — Zadano je $T = 1/5$ s $= 0{,}2$ s, $C = 0{,}2\,\mu F = 2 \cdot 10^{-7}$ F; traži se R. Iz odsjeka 226. slijedi: $R = T/C = 0{,}2/(2 \cdot 10^{-7}) = 0{,}1 \cdot 10^7\,\Omega = 1\,M\Omega$.

82. — Zadano je $V_u = 50\,000$, $R = 3\,k\Omega = 3\,000\,\Omega$, $I_a = 1{,}2$ mA $= 0{,}0012$ A, $I_{g2} = 0{,}5$ mA $= 0{,}0005$ A; traži se $U \cdot \mathfrak{U}_{HF}$, $\mathfrak{U}_A$. Spoj prijemnika odgovara u osnovi slici 173. Zaporni napon je $U = (I_a + I_{g2})\,R = 0{,}0017 \cdot 3000 = 5{,}1$ V. Za početak demodulacije mora tjemena vrijednost

visokofrekventnog napona na duodiodnom demodulatoru biti bar: $\mathfrak{U}_{HF} = 5{,}1$ V, tj. $5{,}1 \cdot 0{,}707 = 3{,}6\,V_{ef}$. To odgovara naponu antene od $\mathfrak{U}_A = \mathfrak{U}_{HF}/V_u = 3{,}6/50\,000 = 0{,}000\,072$ V $= 72\,\mu V_{ef}$.

83. — Krivulja koja prikazuje odnos $\alpha = f(U_{GL})$ za oba anodna istosmjerna napona, vidi se na slici. Kutovima svijetlog sektora od 93° i 155° odgovaraju kod $U_a = 250$ V tačke A i B na krivulji. Potrebni prednapon



na uzbudnoj rešetki mora se dakle mijenjati između vrijednosti — 4 V i + 1 V, koje odgovaraju tačkama C i D. Ako je uzbudna rešetka spojena na katodu, to jest ako je $U_{GL} = 0$ V imamo stanje koje odgovara tački E na krivulji za $U_a = 250$ V i tački F na krivulji za $U_a = 100$ V. Svijetli sektor mijenjat će se između 150° i 120°, dakle između vrijednosti kojima odgovaraju tačke G i H, to jest samo za 30°.

84. — Zadano je $m = 100\%$, $\mathfrak{U}_{g1} = 0{,}9\,V_{ef}$, $M = 28\%$, $\mathfrak{U}_{g1}' = 1{,}5\,V_{ef}$, $m' = 60\%$; traži se k_m, k_m', M'. U prvom slučaju je prema odsjeku 243: $k_m \approx M/7 = 28/7 = 4\%$. Kako u drugom slučaju stupanj modulacije smije iznositi samo 60%, bit će izobličenje modulacije, uz isti ulazni napon, samo $0{,}60 \cdot 4 = 2{,}4\%$. Ulazni izmjenični napon mora međutim da bude $\mathfrak{U}_{g1} = 1{,}5\,V_{ef} = 1{,}5\,\mathfrak{U}_g/0{,}9$; prema odsjeku 243. imat ćemo onda: $k_m = (1{,}5/0{,}9)^2 \cdot 2{,}4 = 6{,}7\%$. Ovo izobličenje odgovara faktoru modulacije $M' \approx 6{,}7 \cdot 7 = 47\%$.

85. — Zadano je $\mathfrak{U}_{g1} = 0{,}8\,V_{ef}$, $m = 100\%$, $m_b = 4\%$, $m' = 30\%$, $m_b' = 1\%$; traži se $\mathfrak{U}_b$, $\mathfrak{U}_b'$. Iz odsjeka 244. imamo: $\mathfrak{U}_b = m_b \cdot \mathfrak{U}_g = 0{,}04 \cdot 0{,}8 = 0{,}032\,V_{ef} = 32\,mV_{ef}$ za $m = 100\%$. Ako je $m' = 30\%$, smije izmjenični napon brujanja iznositi samo $30 \cdot 32/100 = 9{,}6\,mV_{ef}$ za $m_b = 4\%$. Za modulaciju brujanja $m_b' = 1\% = m_b/4$ slijedi: $\mathfrak{U}_b' = 9{,}6/4 = 2{,}8\,mV_{ef}$.

86. — Zadano je $U_{g2}' = 150$ V, $U_{g2} = 100$ V, $I_{g2} = 0{,}6$ mA $= 0{,}0006$ A, $U_a = 250$ V; traži se R_1, R_2, I_q, I_q'. Prema Ohmovu zakonu je (vidi sl. 165 i rješenje zadatka 79) $R_2 = (U_a - U_{g2})/(I_q + I_{g2})$; a $I_q = U_{g2}/R_1$. Kako je kod potpune regulacije na dolje ($I_{g2} \approx 0$): $R_1/R_2 = U_{g2}'/(U_a - U_{g2}')$, dobivamo: $I_q = U_{g2}/R_1 = U_{g2}\,(U_a - U_{g2}')/(U_{g2}' \cdot R_2)$. Ako ovo stavimo u izraz za R_2, dobivamo nakon preinaka: $R_2 = \frac{U_a}{I_{g2}}\left(1 - \frac{U_{g2}}{U_{g2}'}\right)$. Odavle dobivamo: $R_2 = \frac{250}{0{,}0006}\left(1 - \frac{100}{150}\right) \approx 139\,000\ \Omega = \underline{139\ \text{k}\Omega}$. Prema tome je $R_1 = U_{g2}' \cdot R_2 / (U_a - U_{g2}') = 150 \cdot 139\,000 / (250 - 150) \approx 209\,000\ \Omega = \underline{209\ \text{k}\Omega}$ Kad nema regulacije, imamo $I_q = U_{g2}/R_1 = 100/209\,000 = 0{,}00048\ \text{A} = \underline{0{,}48\ \text{mA}}$, a kod pune regulacije na dolje $I_q' = U_{g2}'/R_1 = 150/209\,000 = 0{,}00072\ \text{A} = \underline{0{,}72\ \text{mA}}$.

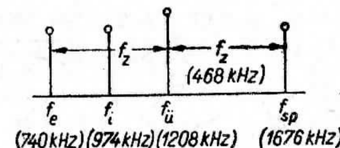
87. — Zadano je $U_a = U_{g2}' = 250$ V, $U_{g2} = 100$ V, $I_{g2} = 2$ mA $= 0{,}002$ A; traži se R. Kod pune regulacije na dolje nema na predotporu R (vidi sl. 184) gotovo nikakvog pada napona, jer je $I_{g2} \approx 0$, pa regulirana elektronka dobiva napon zaslonske rešetke $U_{g2}' = 250$ V. Kad nema regulacije, mora na R nastati pad napona $(U_a - U_{g2}) = 150$ V, kako bi bilo $U_{g2} = 100$ V. Iz Ohmovog zakona imamo onda: $R\,(U_a - U_{g2})/I_{g2} = 150/0{,}002 = 75\,000\ \Omega = \underline{75\ \text{k}\Omega}$.

88. — Prema ključu za elektronke iz dijela I, odsjeka 259, radi se tu o ovim elektronkama: EF 13 = regulirana pentoda (vidi odsjek 249), ECH 11 = regulirana trioda-heksoda (vidi odsjek 254), EBF 11 = duodioda-regulirana pentoda (vidi odsjek 250), EFM 11 = regulirana pentoda s magičnim okom (vidi odsjeke 241 i 254), EL 12 = izlazna pentoda, AZ 12 = dvotaktna ispravljačica. Kako je napon žarne niti ovih elektronki 6,3 V, odnosno 4 V, ukupna je snaga utrošena na žarenje: $N_1 = 6{,}3\,(0{,}2 + 0{,}2 + 0{,}2 + 0{,}2 + 1{,}2) + 4 \cdot 2{,}3 = \underline{21{,}8\ \text{W}}$. U drugom prijemniku imamo: $N_2 = 4\,(0{,}65 + 1{,}6 + 0{,}65 + 0{,}65 + 0{,}32 + 2{,}0 + 1{,}1) = \underline{27{,}9\ \text{W}}$. Postojat će dakle odnos $N_1 : N_2 = 21{,}8 : 27{,}9 \approx \underline{1 : 1{,}28}$.

89. — Duljini vala $\lambda = 300$ m odgovara prema dijelu I, jedn. (65): $f = 3 \cdot 10^8/300 = 1\,000\,000$ Hz $= 1$ MHz. Razlika u frekvenciji od 0,1% znači pomak iz položaja rezonancije za $1\,000\,000/1\,000 = \underline{1\,000\ \text{Hz}}$. Ako rezonantna frekvencija postane za 0,1% veća, mora prema dijelu I, jedn. (54), induktivitet ili kapacitet postati manji. Možemo dakle pisati: $f + f/1\,000 = 1/[2\pi\sqrt{(L - L \cdot x)\,C}]$, ako x znači faktor smanjenja. Iz toga slijedi: $f\,(1 + 1/1\,000) = 1/[2\pi\sqrt{LC\,(1 - x)}] = [1/(2\pi\sqrt{LC})]\ [1/\sqrt{1 - x}] = f/\sqrt{1 - x}$. Skraćivanjem sa f i kvadriranjem dobivamo: $(1 + 1/1\,000)^2 = 1/(1 - x)$, dakle $(1001/1000)^2 = 1/(1 - x)$ ili $x = 1 - (1001/1000)^2 = 2\,000/1\,002\,000 = 0{,}002 = \underline{0{,}2\%}$. Tome odgovara na primjer kod kondenzatora od 200 pF pogreška od samo $2 \cdot 200/1\,000 = 0{,}4$ pF!

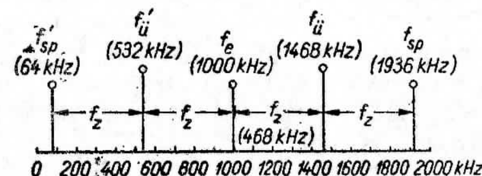
90. — Zadano je $I = 250$ mA $= 0{,}250$ A, $U = 220$ V, $N = 52$ W; traži se N_s i $\cos\varphi$. Prema dijelu I, odsjeku 73. i jedn. (39), imamo: $N_s = U \cdot I = 220 \cdot 0{,}250 = \underline{55\ \text{VA}}$, a $\cos\varphi = N/N_s = 52/55 = \underline{0{,}95}$.

91. — Zadano je $f_e = 740$ kHz, $f_ü = 1208$ kHz; traži se f_i, f_z, f_{sp}. Iz odsjeka 263. imamo: $f_z = f_ü - f_e = \underline{468\ \text{kHz}}$. Iz odsjeka 264. slijedi dalje: $f_i = (f_e + f_ü)/2 = \underline{974\ \text{kHz}}$. Iz jedn. (74a) imamo zrcalnu frekvenciju: $f_{sp} = f_e + 2f_z = \underline{1\,676\ \text{kHz}}$. Grafički prikaz dan je na slici k rješenju (Usporedi sl. 199-a).



92. — Zadano je $f_e = 658$ kHz, $f_e' = 904$ kHz; traži se f_z. Kako se obje stanice primaju uz nepromijenjeni položaj kondenzatora oscilatora, mora $f_ü$ za frekvenciju f_e da bude gornja, a za f_e' donja frekvencija superpozicije (vidi odsjek 268). Iz toga slijedi: $f_z = f_ü - f_e$ i $f_z = f_e' - f_ü$ (vidi odsjek 263). Zbrajanjem dobivamo: $2f_z = f_e' - f_e$, to jest: $f_z = (f_e' - f_e)/2 = \underline{123\ \text{kHz}}$.

93. — Zadano je $f_z = 468$ kHz, $f_e = 1$ MHz $= 1\,000$ kHz; traži se $f_ü$, $f_ü'$, f_{sp}, f_{sp}'. Iz odsjeka 268. slijedi: $f_ü = f_e + f_z = \underline{1\,468\ \text{kHz}}$, a $f_ü' =$



$= f_e - f_z = \underline{532\ \text{kHz}}$. Prema jedn. (74) imamo zrcalne frekvencije: $f_{sp} = f_e + 2f_z = \underline{1\,936\ \text{kHz}}$ i $f_{sp}' = f_e - 2f_z = \underline{64\ \text{kHz}}$. Grafički prikaz vidi se na slici. (Usporedi sl. 199)

94. — U vezi s izvodima u odsjeku 272. i dijelom I jedn. (66) imamo ova područja: a) *Područje prijemnih frekvencija:* $f = 1500$ do 500 kHz ($\lambda_e = 200$ do 600 m) i 300 do 150 kHz (1000 do 2000 m); b) *područje frekvencija superpozicije:* $f_ü = f_z + f_e = 3\,100$ do $2\,100$ kHz ($\lambda_ü = 96{,}8$ do 143 m) i 1 900 do 1 750 kHz (158 do 171 m); c) *područje zrcalnih frekvencija:* $f_{sp} = f_e + 2f_z = 4\,700$ do $3\,700$ kHz ($\lambda_{sp} = 63{,}8$ do $81{,}1$ m) i 3 500 do 3 350 kHz (85,7 do 89,5 m).

95. — Zadano je $f_z = 468$ kHz, $f_e = 592$ kHz; traže se frekvencije koje će smetati f_s. Za frekvencije koje će smetati bit će od interesa sve frekvencije, koje će s odabranom (gornjom) frekvencijom superpozicije $f_{\text{ü}} = f_e + f_z$ davati međufrekvenciju f_z (vidi odsjek 263). Kako ne treba uzeti u obzir one iznad druge harmoničke, imamo četiri slučaja: *Superpozicija osnovnih frekvencija* f_s i $f_{\text{ü}}$: a) $f_z = f_{\text{ü}} - f_{s1}$, $f_{s1} = f_{\text{ü}} - f_z = (f_e + f_z) - f_z = f_e = \underline{592 \text{ kHz}}$; kao specijalni slučaj izlazi ovdje dakle prijemna frekvencija kao frekvencija koja »smeta«; b) $f_z = f_{s2} - f_{\text{ü}}$, $f_{s2} = f_z + f_{\text{ü}} = f_z + (f_e + f_z) = f_e + 2f_z = 1\,528$ kHz; to je zrcalna frekvencija (vidi jedn. 74a). *Superpozicija prve harmoničke* $2f_s$ *i osnovne frekvencije* $_{\text{ü}}$; c) $f_z = f_{\text{ü}} - 2f_{s3}$, $f_{s3} = (f_{\text{ü}} - f_z)/2 = f_e/2 = \underline{2{,}96 \text{ kHz}}$; d) $f_z = 2f_{s4} - f_{\text{ü}}$, $f_{s4} = (f_{\text{ü}} + f_z)/2 = (f_e/2) + f_z = \underline{764 \text{ kHz}}$. *Superpozicija osnovne frekvencije* f_s *i prve harmoničke* $2f_{\text{ü}}$: e) $f_z = 2f_{\text{ü}} - f_{s5}$, $f_{s5} = 2f_{\text{ü}} - f_z = 2f_e + f_z = \underline{1\,652 \text{ kHz}}$; f) $f_z = f_{s6} - 2f_{\text{ü}}$, $f_{s6} = 2f_{\text{ü}} + f_z = 2f_e + 3f_z = \underline{2\,588 \text{ kHz}}$. *Superpozicija prve harmoničke* $2f_s$ i $2f_{\text{ü}}$: g) $f_z = 2f_{\text{ü}} - 2f_{s7}$, $f_{s7} = f_{\text{ü}} - (f_z/2) = f_e + (f_z/2) = \underline{826 \text{ kHz}}$; h) $f_z = 2f_{s8} - 2f_{\text{ü}}$, $f_{s8} = f_{\text{ü}} + (f_z/2) = f_e + (3f_z/2) = \underline{1\,294 \text{ kHz}}$.

96. — Zadano je $C = 100$ pF, $\lambda = 20$ m, $\Delta f = 1{,}5$ kHz; traži se $\Delta f'$. Duljini vala $\lambda = 20$ m odgovara prema jedn. (66) iz dijela I, frekvencija $1{,}5 \cdot 10^4$ kHz. Prema tome je $\Delta f' = 1{,}5/(1{,}5 \cdot 10^4) = 10^{-4}$.

97. — Zadano je $S = 1{,}8$ mA/V, $\mathfrak{U}_{g1} = 200$ mV $= 0{,}200$ V; traži se $S_{\text{ü}}$ i $\mathfrak{J}_{ZF}$. Iz bilješke uz odsjek 285. slijedi: $S_{\text{ü}} = 0{,}318 \cdot S = 0{,}318 \cdot 1{,}8 = \underline{0{,}57 \text{ mA/V}}$. Prema istom odsjeku je: $\mathfrak{J}_{ZF} = S_{\text{ü}} \cdot \mathfrak{U}_{g1} = 0{,}57 \cdot 0{,}200 = \underline{0{,}11 \text{ mA}}$.

98. — Zadano je $\mathfrak{U}_{g4} = 150\ \mu$V $= 1{,}50 \cdot 10^{-4}$ V, $\mathfrak{R}_{aef} = 150$ kΩ $= 1{,}5 \cdot 10^5\ \Omega$, $S_{\text{ü}} = 0{,}6$ mA/V $= 0{,}0006$ A/V; traži se V_u i $\mathfrak{U}_{ZF}$. Iz odsjeka 285. imamo: $V_u \approx S_{\text{ü}} \cdot \mathfrak{R}_{aef} = 0{,}0006 \cdot 1{,}5 \cdot 10^5 = \underline{90}$; tada je: $\mathfrak{U}_{ZF} = V_u \cdot \mathfrak{U}_{g4} = 90 \cdot 150 = 13\,500\ \mu\text{V} = \underline{13{,}5 \text{ mV}}$.

99. — Zadano je $S_{\text{ü}} = 0{,}75$ mA/V, $S_{\text{ü}}' = 10\ \mu$A/V $= 0{,}01$ mA/V, $\mathfrak{R}_{aef} = 300$ kΩ; traži se V_u, V_u', V_u'/V_u. Kako je međufrekventni filtar kritički vezan, imamo iz jedn. (71) i odsjeka 285: $V_u = 0{,}5 \cdot S_{\text{ü}} \cdot \mathfrak{R}_{aef} = 0{,}5 \cdot 0{,}75 \cdot 300 = \underline{112{,}5}$ a $V_u' = 0{,}5 \cdot 0{,}01 \cdot 300 = \underline{1{,}5}$. Iz toga slijedi $V_u'/V_u = 1{,}5/112{,}5 = \underline{1 : 75}$. U istom omjeru stoje i strmine miješanja.

100. — Zadano je $C_a = 25$ pF $= 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ F, $C_e = 550$ pF $= 5{,}5 \cdot 10^{-10}$ F, $f_a = 1\,500$ kHz $= 1{,}5 \cdot 10^6$ Hz, $f_e = 500$ kHz $= 5 \cdot 10^5$ Hz; traži se C_p i L. Rezonantne frekvencije odnose se prema Thomsonovoj jednadžbi (dio I, jedn. 54) obrnuto s korijenima kapaciteta. Budući da želimo obuhvatiti područje frekvencija 3 : 1, mora se promjenljivi kapacitet mijenjati za $1 : 3^2 = 1 : 9$. Uzimajući u obzir paralelne kapacitete imamo

$(C_a + C_p)/(C_e + C_p) = (25 + C_p)/(550 + C_p) = 1/9$; iz toga slijedi: $225 + 9C_p = 550 + C_p$, dakle $C_p \approx \underline{41 \text{ pF}}$. Tada imamo iz Thomsonove jednadžbe: $L = 1/[2\pi f_e)^2 (C_e + C_p)] = 1/[(2\pi \cdot 5 \cdot 10^5)^2 (5{,}5 \cdot 10^{-10} + 0{,}41 \cdot 10^{-10})] = 1/(100\pi^2 \cdot 5{,}91) = 0{,}000171 \text{ H} = \underline{0{,}171 \text{ mH}}$.

101. — Zadano je $C = 400$ pF, $C_p = 50$ pF, $C_v = 600$ pF; traži se C_r. Paralelni spoj kapaciteta C sa C_p daje kapacitet $(C + C_p)$; ovaj je spojen u seriju sa C_v, pa imamo: $C_r = (C + C_p) \cdot C_v/[(C + C_p) + C_v] = (400 + 50) \cdot 600/(400 + 50 + 600) = 270\,000/1050 \approx \underline{257 \text{ pF}}$.

102. — Zadano je $L = 3$ mH $= 3 \cdot 10^{-3}$ H, $f = 468$ kHz $= 4{,}68 \cdot 10^5$ Hz; traži se C. Iz Thomsonove jednadžbe slijedi: $C = 1/(4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L) = 1/(4\pi^2 \cdot 21{,}90 \cdot 10^{10} \cdot 3 \cdot 10^{-3}) = 3{,}9 \cdot 10^{-11} \text{ F} = \underline{39 \text{ pF}}$.

103. — Zadano je $f_0 = 800$ kHz $= 8 \cdot 10^5$ Hz, $C_3 = C_4 = 150$ pF $= 1{,}50 \cdot 10^{-10}$ F; traži se L_3, L_4, L_5. Prema odsjeku 297. imamo: $L_4 = 1/(\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C_4) = 1/(\pi^2 \cdot 64 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}50 \cdot 10^{-10}) = 0{,}00106 \text{ H} = \underline{1{,}06 \text{ mH}}$, pa moramo odabrati: $L_3 = L_5 = L_4/2 = \underline{0{,}53 \text{ mH}}$.

104. — Zadano je $R = 100$ kΩ, $b = 9$ kHz; traži se $\mathfrak{U}_{go}$. Iz jedn. (76) slijedi: $\mathfrak{U}_{go} = 0{,}13\sqrt{100 \cdot 9} = 0{,}13 \cdot 30 = \underline{3{,}9\ \mu\text{V}_{ef}}$.

105. — Zadano je $R_1 = 2{,}5$ kΩ, $R_2 = 80$ kΩ, $R_{p1} = 5$ kΩ, $R_{p2} = 10$ kΩ, $V_u = 10$, $b = 10$ kHz; traži se R_{ges} i $\mathfrak{U}_{go}$. Iz jedn. (75) imamo: $R_{ges} = 2{,}5 + 5 + (80 + 10)/10^2 = 7{,}5 + 0{,}9 = \underline{8{,}4 \text{ k}\Omega}$. Iz jedn. (76) slijedi: $\mathfrak{U}_{go} = 0{,}13\sqrt{8{,}4 \cdot 10} = \underline{1{,}2\ \mu\text{V}_{ef}}$.

106. — Zadano je $R_{10} = 0{,}3$ MΩ, $R_{11} = 0{,}5$ MΩ, $R_{12} = 0{,}1$ MΩ, $R_{13} = 1$ MΩ; traži se m i m'. U prvom slučaju je ukupni serijski otpor opterećenja diode: $R = R_{10} + R_{11} = 0{,}8$ MΩ. Djelotvorni otpor opterećenja za izmjeničnu struju $\mathfrak{R}$ jednak je međutim sumi otpora R_{10} i otpora koji dobivamo iz paralelnog spoja otpora R_{11} i $(R_{12} + R_{13})$. Prema tome je $\mathfrak{R} = R_{10} + [R_{11}(R_{12} + R_{13})]/[R_{11} + (R_{12} + R_{13})] = 0{,}64$ MΩ. Prema odsjeku 168. imamo dakle: $m \leqq (\mathfrak{R}/R) \cdot 100\% = 0{,}64 \cdot 100/0{,}8 = \underline{80\%}$. U drugom slučaju ($R_{10} = 0$) imali bismo: $R' = R_{11} = 0{,}5$ MΩ, a $\mathfrak{R}' = [R_{11}(R_{12} + R_{13})]/[R_{11} + (R_{12} + R_{13})] = 0{,}34$ MΩ. To odgovara najvećem stupnju modulacije od samo $m' \leqq 0{,}34 \cdot 100/0{,}5 = \underline{68\%}$.

107. — Zadano je $L_4 = 5$ mH $= 5 \cdot 10^{-3}$ H, $R_5 = 20$ kΩ $= 2 \cdot 10^4\ \Omega$, $f_0 = 430$ kHz $= 4{,}3 \cdot 10^5$ Hz, $C_p = 10$ pF $= 10^{-11}$ F, $f = 800$ kHz $= 8 \cdot 10^5$ Hz; traži se C_8, $\mathfrak{R}_0$, $\mathfrak{R}$. Iz Thomsonove jednadžbe slijedi: $C_8 + C_p = 1/[(2\pi f_0)^2 \cdot L_4] = 1/(4\pi^2 \cdot 18{,}5 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-3}) \approx 27 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 27$ pF, dakle $C_8 = 27 - 10 = \underline{17 \text{ pF}}$. Prema dijelu I, odsjeku 111, rezonantni otpor

paralelnog spoja L_4, C_8, R_5 jednak je radnom otporu, to jest: $\mathfrak{R}_0 = R_5 = 20$ kΩ. Kod frekvencije od $f = 800$ kHz imat ćemo, prema dijelu I, jedn. (58): $1/\mathfrak{R} = \sqrt{\frac{1}{R_5^2} + \left[\frac{1}{\omega L_4} - \omega (C_8 + C_p)\right]^2} =$

$$= \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^8} + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} - 2\pi \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 27 \cdot 10^{-12}\right)^2} =$$

$= 1{,}082/10^4$, a odavle: $\mathfrak{R} \approx 9{,}24$ kΩ.

108. — Budući da kombinirana elektronka ABC 1 pojačava 20 puta, mora joj se na rešetku dovesti izmjenični napon $3{,}6/20 = 0{,}18\ V_{ef}$. Regulator jakosti zvuka otvoren je na jednu trećinu, pa zbog toga mora na lijevoj diodi te elektronke postojati niskofrekventni napon $3 \cdot 0{,}18 = 0{,}54\ V_{ef}$. Za to je, prema slici 128, potreban visokofrekventni napon od kojih 2 V_{ef}. Uslijed toga dobivamo, prema slici 129, povišenje istosmjernog napona od oko 2,5 V. Kako početni napon, prema odsjeku 225, iznosi oko 1 V, potrebno je odabrati napon odgađanja 2,5 + 1 = 3,5 V. Naponsko pojačanje stupnja međufrekventnog pojačala je prema jedn. (71): $V_u = 0{,}5 \cdot S \cdot \mathfrak{R}_{aef} = 0{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 150 = 135$. Pojačanje miješanja je $V_u' = 0{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 250 = 75$. Ukupno visokofrekventno pojačanje je dakle: $V_u \cdot V_u' = 135 \cdot 75 \approx 10\,000$, pa prema tome mora ulazni visokofrekventni napon da bude $2/10\,000\ V_{ef} = 0{,}20\ mV_{ef}$. Ako je visokofrekventni napon četvorostruk, to jest $4 \cdot 2 = 8\ V_{ef}$, dobit ćemo na opteretnom otporu R_{15} demodulatora, prema sl. 129, porast istosmjernog napona oko 10 V, to jest napon regulacije $(10+1) - 3{,}5 = 7{,}5$ V, jer je potrebno odbiti stalni napon odgađanja 3,5 V. Naponska pojačanja su sada u reguliranom stanju samo: $V_u = 0{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 150 = 30$ i $V_u' = 0{,}5 \cdot 0{,}009 \cdot 250 = 1{,}1$, pa je ukupno pojačanje $30 \cdot 1{,}1 = 33$. U tom slučaju potreban je ulazni visokofrekventni napon $8/33 \approx 0{,}24\ V_{ef} = 240\ mV_{ef}$, pa je ukupni odnos regulacije $0{,}20 : 0{,}240 = 1 : 1\,200$. Usprkos ovako velikim dopuštenim promjenama visokofrekventnog napona mijenjat će se niskofrekventni napon samo u omjeru 1 : 4. Budući da bi međutim tada izlazni stupanj već bio preuzbuđen, mora se regulator jakosti zvuka zatvoriti na $\frac{1}{3} : \frac{1}{4} = 1/12$ ili oko 8% od vrijednosti otpora. Ovaj primjer pokazuje kako se može približno proračunati tok regulacije prijemnika.

109. — Zadano je $R_4 = R = 40$ kΩ $= 4 \cdot 10^4$ Ω, $C_7 = C = 500$ pF $= 5 \cdot 10^{-10}$ F, $\mathfrak{U}_a = 10\ V_{ef}$, $f = 1$ MHz $= 10^6$ Hz, $S = 1{,}5$ mA/V; traži se $\mathfrak{U}_g$, $\mathfrak{J}_a$, $\mathfrak{R}_a$, $\mathfrak{R}_a'$. Uslijed dijeljenja napona vrijedi: $\mathfrak{U}_g : \mathfrak{U}_a = [1/(\omega C)] : \sqrt{R^2 + [1/(\omega C)]^2}$. Tu je: $1/(\omega C) = 1/(2\pi \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-10}) = 1000/\pi = 318$ Ω, a $\sqrt{R^2 + [1/(\omega C)]^2} = \sqrt{16 \cdot 10^8 + 318^2} \approx 4 \cdot 10^4 = 40\,000$ Ω. Odatle je: $\mathfrak{U}_g = 10 \cdot 318/40\,000 \approx 0{,}08\ V_{ef}$. Prema jedn. (28) imamo: $\mathfrak{J}_a = S \cdot \mathfrak{U}_g = 1{,}5 \cdot 0{,}08 = 0{,}12\ mA_{ef}$, a tada je: $\mathfrak{R}_a = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{J}_a = 10/0{,}00012 \approx 83\,000$ Ω $= 83$ kΩ. Konačno je: $\mathfrak{R}_a' = \mathfrak{U}_a/(S' \cdot \mathfrak{U}_g) = \mathfrak{U}_a/(0{,}1 \cdot S \cdot \mathfrak{U}_g) = 10\ \mathfrak{R}_a = 830$ kΩ (vidi odsjek 322).

110. — Zadani pučki prijemnik radi (prema odsjeku 326) s dvije triode KC 1 i s izlaznom pentodom KL 1. Jakost struje za žarenje bit će dakle: $I_h = 2 \cdot 0{,}065 + 0{,}15 = 0{,}28$ A. Uz kapacitet žarne baterije od 280 Ah dobivamo za trajanje žarne baterije 280 Ah/0,28 A = 1 000 h. Prema tome jedan sat pogona žarne baterije stoji 200 Din : 1 000 = 0,2 Din/h.

111. — Zadano je $b = 450$ mm $= 0{,}450$ m, $h = 350$ mm $= 0{,}350$ m, $w = 16$ zavoja, $f = 1$ MHz $= 10^6$ Hz, $\mathfrak{E} = 100\ \mu$V, traži se h_w i $\mathfrak{U}$. Prema dijelu I, odsjeku 179. imamo: $h_w = 2\pi \cdot w \cdot F/\lambda$; kod toga je: $F = b \cdot h = 0{,}450 \cdot 0{,}350 = 0{,}1575$ m² i $\lambda = 3 \cdot 10^8/f = 3 \cdot 10^8/10^6 = 300$ m. Uvrstivši ovo dobivamo: $h_w = 2\pi \cdot 16 \cdot 0{,}1575/300 = 0{,}0168 \cdot \pi = 0{,}0528$ m $\approx 5{,}3$ cm. Pomoću ovoga dobivamo: $\mathfrak{U} = \mathfrak{E} \cdot h_w = 100 \cdot 0{,}0528 \approx 5{,}3\ \mu$V.

112. — Zadano je $h_w = 50$ cm $= 0{,}50$ m, $\mathfrak{U} = 30\ \mu$V; traži se $\mathfrak{E}$. Prema dijelu I, jedn. (17) slijedi: $\mathfrak{E} = \mathfrak{U}/h_w = 30/0{,}5 = 60\ \mu$V/m.

113. — Uz prijenosni odnos $ü = 1 : 1$ tjemena vrijednost proizvedenog izmjeničnog napona u najpovoljnijem je slučaju jednaka istosmjernom naponu akumulatora $U = 6$ V mjereno na gornjoj, odnosno donjoj polovici primarnog i sekundarnog namotaja transformatora; dakle $\mathfrak{U} = 6$ V. Kako je faktor oblika (faktor tjemene vrijednosti) izmjeničnog napona $\sigma = 1{,}25$, dobivamo prema dijelu I, jedn. (10) za efektivni izmjenični napon: $\mathfrak{U}_{ef} = \mathfrak{U}/\sigma = 6/1{,}25 = 4{,}8\ V_{ef}$. Da se dobije izmjenični napon od 240 V_{ef} po polovici sekundarnog namotaja, mora prijenosni odnos biti: $ü = w_1/w_2 = 4{,}8/240 = 1 : 50$.

114. — Zadano je $w = 10$ zavoja, $d = 30$ mm $= 3$ cm, $l = 6$ mm $= 0{,}6$ cm, $C_1 = 25$ pF $= 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ F, $C_2 = 62{,}5$ pF $= 6{,}25 \cdot 10^{-11}$ F; traži se L, f_1, f_2, λ_1, λ_2. Kako je $d/l = 5$, dobivamo prema dijelu I, sl. 40. faktor oblika zavojnice $a \approx 3{,}15$. Prema dijelu I, jedn. (30) bit će: $L = (a \cdot w^2 \cdot d^2/l) \cdot 10^{-9} = (3{,}15 \cdot 100 \cdot 9/0{,}6) \cdot 10^{-9} = 4\,725 \cdot 10^{-9}$ H $= 4{,}73\ \mu$H. Za $C_1 = 25$ pF dobit ćemo prema dijelu I, jedn. (54): $f_1 = 1/(2\pi\sqrt{L \cdot C_1}) = 1/(2\pi \cdot \sqrt{4725 \cdot 10^{-9} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-11}}) = 1/(2\pi\sqrt{1{,}181 \cdot 10^{-16}}) = 10^8/6{,}83 = 14{,}64 \cdot 10^6$ Hz $= 14{,}64$ MHz. Za $C_2 = 2{,}5 \cdot C_1$ bit će: $f_2 = \sqrt{C_1/C_2} \cdot f_1 = 14{,}64/\sqrt{2{,}5} = 9{,}26$ MHz. Prema dijelu I, jedn. (65) odgovaraju ove frekvencije valnim dužinama: $\lambda_1 = 3 \cdot 10^8/(14{,}64 \cdot 10^6) = 20{,}49$ m i $\lambda_2 = 3 \cdot 10^8/(9{,}26 \cdot 10^6) = 32{,}4$ m.

115. — Zadano je $\lambda_e = 42$ m i $f_n = 1$ kHz; traži se $f_ü$. Ako sa f_e označimo primanu frekvenciju, bit će: $f_ü = f_e \pm 1$ [kHz]. Iz dijela I, odsjeka 66. imamo: $f_e = 3 \cdot 10^5/\lambda_2 = 3 \cdot 10^5/42 = 0{,}07143 \cdot 10^5$ kHz $= 7\,143$ kHz. Prema tome bit će $f_ü = 7\,142$ kHz, odnosno $7\,144$ kHz.

116. — Zadano je $L = 10\,\mu H = 10^{-5}$ H, $C_a = 10$ pF, $C_e = 110$ pF, $C_s = 20$ pF, $C_r = 100$ pF; traži se f, f_e, λ_a, λ_e. Prema dijelu I, odsjeku (67) dobivamo za serijski spoj kapaciteta C_a i C_r konačni kapacitet: $C_a \cdot C_r/(C_a + C_r) = 10 \cdot 100/(10 + 100) = 9{,}1$ pF. Kako je C_s spojen k ovome paralelno, imamo ukupni početni kapacitet: $C_a' = 9{,}1 + 20 = 29{,}1$ pF $= 20{,}1 \cdot 10^{-12}$ F. Analogno dobivamo za ukupni konačni kapacitet: $C_e' = 52{,}4 + 20 = 72{,}4$ pF $= 72{,}4 \cdot 10^{-12}$ F. Iz dijela I, jedn. (54) dobivamo: $f_a = 1/(2\pi \cdot \sqrt{10^{-5} \cdot 29{,}1 \cdot 10^{-12}}) = 10^8/(2\pi \cdot \sqrt{2{,}91}) = 9{,}330 \cdot 10^6$ Hz $= 9{,}330$ MHz. Analogno dobivamo: $f_e = 5{,}915$ MHz. Prema dijelu I, jedn. (65) imat će dakle područje valova od $\lambda_a = 3 \cdot 10^8/(9{,}330 \cdot 10^6) = 32{,}15$ m do $\lambda_e = 3 \cdot 10^8/(5{,}915 \cdot 10^6) = 50{,}72$ m, dakle će se moći primati 49 m-ski pojas kratkovalnog područja razglasnih (radio-difuznih) stanica (vidi odsjek 350).

117. — Zadano je $C_a = 10$ pF, $C_e = 55$ pF, $C_s = 20$ pF, $f_a = 4{,}000$ MHz$+2{,}5\%=4{,}100$ MHz (vidi odsjek 350), $f_e=3{,}500$ MHz $- 2{,}5\% = 3{,}412$ MHz. Traži se C_b, b, f_e', b'. Po jedn. (77) imamo: $4{,}100/3{,}412 = \sqrt{(55 + C_b + 20)/(10 + C_b + 20)}$. Kvadriranjem dobivamo: $(C_b + 30) \cdot 4{,}100^2 = (C_b + 75) \cdot 9{,}412^2$, dakle: $C_b \approx 71$ pF. Obuhvaćeno je dakle područje frekvencija: $4{,}100 - 3{,}412 = 0{,}688$ MHz, tako da na 1^0 skale otpada $b = 0{,}688 : 100 = 0{,}00688$ MHz $= 6{,}88$ kHz. Bez pojasnog kondenzatora dobivamo za donju graničnu frekvenciju: $f_a/f_e' = \sqrt{(C_e + C_s)/(C_a + C_s)}$, $f_e' = f_a \cdot \sqrt{(C_a + C_s)/(C_e + C_s)} = 4{,}100\sqrt{30/75} = 2{,}593$ MHz. Cijelo područje frekvencija proteže se dakle od 4,100 MHz do 2,593 MHz (≈ 73 m do 116 m). Prema tome otpada na 1^0 skale: $b' = 1{,}507 : 100 = 0{,}0151$ MHz $= 15{,}1$ kHz, to jest u ovom će se slučaju područje frekvencija od 0,688 MHz = 688 kHz protezati preko $688 : 15{,}1 \approx 45$ stupnjeva skale za ugađanje (teško ugađanje!).

118. — Spoj dobivamo sastavljanjem slike 248. i 249. Kondenzator C_4 i otpor R_4 na sl. 248. ispuštaju se. Na mjesto ovih treba staviti zaporni krug L—C i kondenzator C_k iz sl. 249.

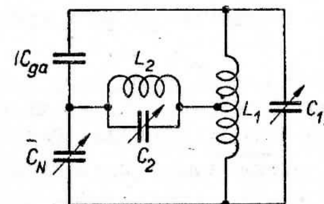
119. — Zadano je $\mathfrak{R}_1 = 0{,}3$ MΩ $= 300$ kΩ, $\mathfrak{R}_2 = 3$ kΩ. Traži se $ü$. Prema jedn. (40) imamo: $ü = \sqrt{\mathfrak{R}_1/\mathfrak{R}_2} = \sqrt{300/3} = 10 : 1$.

120. — Zadano je $D = 6\% = 0{,}06$, $S = 3{,}5$ mA/V $= 0{,}0035$ A/V, $C_{ga} = 10$ pF $= 10^{-11}$ F, $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 7 \cdot 10^6 = 4{,}40 \cdot 10^7$. Traži se $\mathfrak{K}$ i $\mathfrak{R}_g$. Prema jedn. (64): $\mathfrak{K} = D + [1/(S \cdot R_a)]$. Za slučaj samouzbudivosti mora da bude $\mathfrak{K} > D$, dakle $\mathfrak{K} > 6\%$. Uslijed razdiobe napona (vidi odsjek 369) i uzevši u obzir jedn. (62) dobivamo: $\mathfrak{K} = -\mathfrak{U}_g/\mathfrak{U}_a = \mathfrak{R}_g/(\mathfrak{R}_g + \mathfrak{R}_{Cga}) > 0{,}06$, odnosno: $\mathfrak{R}_g > 0{,}064 \cdot \mathfrak{R}_{Cga} > 0{,}064 \cdot 1/(\omega \cdot C_{ga}) > 0{,}064/(4{,}40 \cdot 10^7 \cdot 10^{-11}) > 640/4{,}40$, dakle: $\mathfrak{R}_g > 145$ Ω.

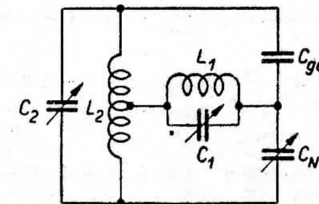
121. — Zadano je $f_0 = 800$ kHz $= 800\,000$ Hz; traži se d. Iz jedn. (79) slijedi: $d = 273\,000/800\,000 = 0{,}34$ cm $= 3{,}4$ mm.

122. — Zadano je $L = 5$ H, $C = 0{,}005$ pF $= 5 \cdot 10^{-15}$ F, $R = 10$ kΩ $= 10^4$ Ω. Traži se f_0, $\mathfrak{R}_0$, ϱ, ϑ. Prema dijelu I, jedn. (54) imamo: $f_0 = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) = 1/(2\pi \cdot \sqrt{5 \cdot 5 \cdot 10^{-15}}) = 10^7/(8\pi \cdot \sqrt{2{,}5}) = 1{,}01 \cdot 10^6$ Hz $= 1{,}01$ MHz. Za slučaj rezonancije imamo prema dijelu I, odsjeku 96: $\mathfrak{R}_0 = R = 10$ kΩ. Prema dijelu I, jedn. (55) dobivamo dakle: $\varrho = \omega_0 \cdot L/R = 2\pi \cdot 1{,}01 \cdot 10^6 \cdot 5/10^4 \approx 3\,170$. Nadalje prema dijelu I, jedn. (62) imamo: $\vartheta = \pi/\varrho = \pi/3\,170 = 0{,}000\,991 \approx 0{,}001$.

123. — U *serijskom napajanju* spojen je izvor napona u *seriju* s elektronkom i s titrajnim krugom (vidi odsjek 369). S obzirom na sl. 265. dobivamo prema tome za rješenje zadatka ove slike:

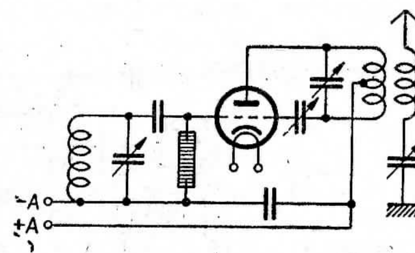


Anodna neutralizacija



Rešetkina neutralizacija

124. — Nadomjesna shema može se lako nacrtati prema odsjeku 207, te izgleda ovako:



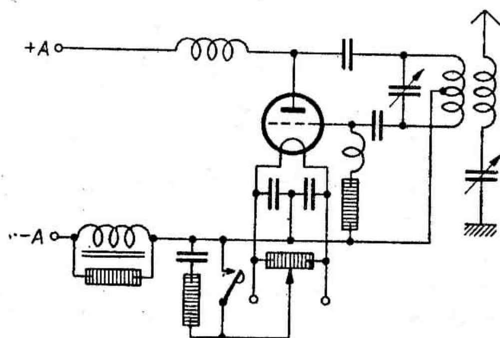
125. — Izračunavanje faktora iskoristivosti u odsjecima 386. i 387. odnosi se na 90%-tno iskorišćenje anodnog istosmjernog napona ($\mathfrak{U}_a = 0{,}9 \cdot U_a$). Najveći stupanj iskoristivosti imamo kod 100%-tnog iskorišćenja, dakle za $\mathfrak{U}_a = U_a$. Prema tome dobivamo za *pojačalo u klasi A*: $\mathfrak{N}_a = \frac{1}{2} \cdot \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{I}_a = \frac{1}{2} \cdot U_a \cdot I_s/2 = 0{,}25 \cdot U_a \cdot I_s$ i $N_a = U_a \cdot I_a = 0{,}5 \cdot U_a \cdot I_s$ to jest: $\eta = \mathfrak{N}_a/N_a = 0{,}50 = 50\%$. Za *pojačalo u klasi B* bit će: $\mathfrak{N}_a = 0{,}25 \cdot U_a \cdot I_s$ i $N_a = 0{,}318 \cdot U_a \cdot I_s$, prema tome je $\eta = 0{,}786 = 78{,}6\%$. Za *pojačalo u klasi C* dobivamo: $\mathfrak{N}_a = 0{,}5 \cdot U_a \cdot 0{,}391 \cdot I_s = 0{,}1955 \cdot U_a \cdot I_s$,

a $N_a = 0{,}218 \cdot U_a \cdot I_s$, dakle $\eta = 0{,}897 = 89{,}7\%$. Prema odsjeku 388. dobivamo za anodnu snagu: $N_v = N_a - \mathfrak{N}_a = 0{,}5 \cdot U_a \cdot I_s = 0{,}5 \cdot N_a = 50\%$ od N_a za pojačalo u klasi A. $N_v = 0{,}318 \cdot U_a \cdot I_s - 0{,}25 \cdot U_a \cdot I_s = 0{,}068 \cdot U_a \cdot I_s = (0{,}068/0{,}318) \cdot N_a = 0{,}214 \cdot N_a = 21{,}4\%$ od N_a za pojačalo u klasi B, a $N_v = 0{,}218 \cdot U_a \cdot I_s - 0{,}1955 \cdot U_a \cdot I_s = (0{,}0225/0{,}218) \cdot N_a = 0{,}103 \cdot N_a = 10{,}3\%$ od N_a za C- pojačalo.

126. — Zadano je $N_a = 30$ W, $N_a' = 15$ W, $\eta = 50\% = 0{,}50$; traži se N_v i N_v'. Za odašiljačku elektronku vrijedi prema odsjeku 388: $N_v = N_a - \mathfrak{N}_a = N_a - \eta \cdot N_a = (1 - \eta) \cdot N_a = 0{,}50 \cdot 30 = 15$ W. U elektronki u prijemniku dolazi do najjačeg ugrijavanja anode za vrijeme stanke u reprodukciji, dakle za $\mathfrak{N}_a = 0$; prema tome bit će: $N_v' = N_a' = 15$ W. Iz toga slijedi da se na anodi odašiljačke elektronke za vrijeme pogona samo polovina istosmjerne snage pretvara u toplinu, dok se u elektronki u prijemniku za vrijeme stanke u reprodukciji pretvara na anodi cijela istosmjerna snaga u toplinu.

127. — Zadano je: $U_a = 2{,}5$ kV $= 2\,500$ V, $I_s = 1{,}5$ A, $\mathfrak{I}_a = I_s/2 = 0{,}75$ A (B-pojačalo!), $U_s = 250$ V; traži se $\mathfrak{U}_a$, $\mathfrak{R}_{gr}$, $\mathfrak{N}_a$. Iz odsjeka 390. imamo: $\mathfrak{U}_a = U_a - U_s = 2\,500 - 250 = 2\,250$ V (90%-tno iskorišćenje anodnog istosmjernog napona!) i prema tome: $\mathfrak{R}_{gr} = \mathfrak{U}_a/\mathfrak{I}_a = 2\,250/0{,}75 = 3\,000\ \Omega$. Nadalje: $\mathfrak{N}_a = \frac{1}{2} \cdot \mathfrak{U}_a \cdot \mathfrak{I}_a = \frac{1}{2} \cdot \mathfrak{I}_a \cdot \mathfrak{R}_{gr} \cdot \mathfrak{I}_a = \frac{1}{2} \cdot \mathfrak{I}_a^2 \cdot \mathfrak{R}_{gr} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}75^2 \cdot 3\,000 = 844$ W.

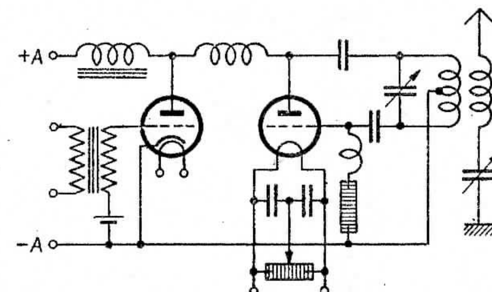
128. — Traženi spoj može se kombinirati prema sl. 275, 277. i 278. Filtar tipkala spojen je u odvodu sredine žarne niti prema slici k rješenju ovog zadatka.



129. — Zadano je $R_a = 20\ \Omega$, $\mathfrak{I}_{a1} = 2{,}5$ A, $\mathfrak{I}_{a2} = 8{,}5$ A, traži se $\mathfrak{I}_{a0}$, $\mathfrak{N}_{a1}$, $\mathfrak{N}_{a2}$. Radna tačka mora da bude u sredini ravnog dijela krivulje modulacije. Prema tome treba prijenosni val (u nemoduliranom stanju, bez modulacije) ugoditi tako da jakost struje u anteni bude: $\mathfrak{I}_{a0} =$

$= (\mathfrak{I}_{a1} + \mathfrak{I}_{a2})/2 = (2{,}5 + 8{,}5)/2 = 5{,}5$ A. U ovom će slučaju biti snaga u anteni (antenska snaga): $\mathfrak{N}_a = \mathfrak{I}_{a0}^2 \cdot R_a = 5{,}5^2 \cdot 20 = 605$ W. Pod modulacijom mijenja se antenska snaga od $\mathfrak{N}_{a1} = \mathfrak{I}_{a1}^2 \cdot R_a = 2{,}5^2 \cdot 20 = 125$ W do $\mathfrak{N}_{a2} = \mathfrak{I}_{a2}^2 \cdot R_a = 8{,}5^2 \cdot 20 = 1445$ W. Promjene iznose dakle $(605 - 125) = 480$ W, odnosno $(1445 - 605) = 840$ W.

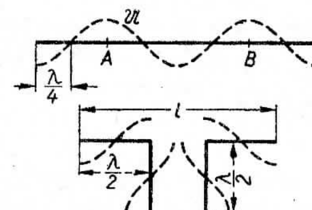
130. — Analogno prema sl. 285. i 275. dobivamo traženi spoj koji je prikazan na slici k rješenju ovog zadatka.



131. — Zadano je $\lambda_1 = 360$ m; traži se l, λ_3, λ_5. Iz odsjeka 407. imamo: $l = 0{,}95 \cdot \lambda_1/4 = 0{,}95 \cdot 360/4 = 85{,}5$ m. Prema odsjeku 408. dobivamo za 3. harmonik: $\lambda_3 = (1/0{,}95) \cdot (4/3) \cdot l = (1/0{,}95) \cdot (4/3) \cdot 85{,}5 = 120$ m, a za 5. harmonik: $\lambda_5 = (1/0{,}95) \cdot (4/5) \cdot 85{,}5 = 72$ m. Oba se rezultata dobivaju jednostavnije iz činjenice da je $\lambda_3 = \lambda_1/3$ i $\lambda_5 = \lambda_1/5$ uvrstivši za $\lambda_1 = 360$ m.

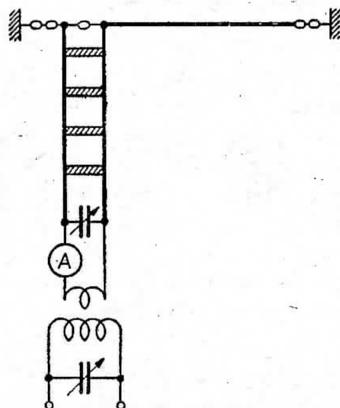
132. — Zadano je $l = 120$ m; traži se λ_1, λ_2, λ_3, λ_4, λ_5. Prema odsjeku 407. imamo: $\lambda_1 = (1/0{,}95) \cdot 4 \cdot l = (1/0{,}95) \cdot 480 = 505{,}3$ (osnovni val ili 1. harmonik). Nadalje je $\lambda_2 = \lambda_1/2 = 252{,}6$ m (2. harmonik), $\lambda_3 = \lambda_1/3 = 168{,}4$ m (3. harmonik), $\lambda_4 = \lambda_1/4 = 126{,}3$ m (4. harmonik) i $\lambda_5 = \lambda_1/5 = 101{,}1$ m. (5. harmonik).

133. — Kako je Hertzov dipol uzbuđen 2. harmonikom, razdioba napona bit će prema sl. 292, to jest imat ćemo cjelovalni dipol (vidi odsjek 409). Takva se razdioba napona dobiva tako da uz pretpostavku da je dipol uzbuđen 4. harmonikom, dipol u sredini pre-



režemo i kod tačaka A i B pravokutno savinemo (vidi sliku uz rješenje). Dužina samog dipola bit će prema tome: $l = 0{,}95 \cdot 2 \cdot \lambda/2 = 0{,}95 \cdot \lambda = 0{,}95 \cdot 42{,}86/2 = 20{,}36$ m. Dužina pojnog voda: $l_s = \lambda/2 = 21{,}43/2 = \underline{10{,}71 \text{ m}}$ ili cjelovalni višekratnik ove ($2 \cdot l_s$, $3 \cdot l_s$, $4 \cdot l_s$ itd.).

134. — Dužina antenske žice takozvane Zeppelin-antene dobiva se prema odsjeku 412. i sl. 299. i 301: $l = 0{,}95 \cdot \lambda/2 = 0{,}95 \cdot 41{,}1/2 = \underline{19{,}52 \text{ m}}$.



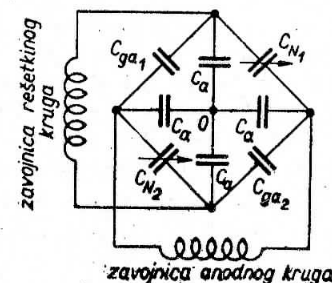
Kod strujne veze (napajanja) bit će dužina pojnog voda: $l_s = \lambda/4 = 31{,}1/4 = 10{,}27$ m ili neparni cjelobrojni višekratnik ove ($3l_s$, $5l_s$, $7l_s$ itd.). Kod naponske veze je: $l_s' = \lambda/2 = 41{,}1/2 = 20{,}55$ m ili cjelobrojni višekratnik ove ($2\,l_s'$, $3\,l_s'$, $4\,l_s'$ itd.). Traženi spoj za naponsku vezu prikazan je na slici k rješenju ovog zadatka (usporedi sl. 298).

135. — Zadano je $\lambda = 75$ m, $d = 2$ mm; traži se a, b, c, e. Prema odsjeku 415. i sl. 303. imamo: $a = 0{,}12 \cdot \lambda = 0{,}12 \cdot 75 = \underline{9 \text{ m}}$, $b = 0{,}15 \cdot \lambda = 0{,}15 \cdot 75 = \underline{11{,}25 \text{ m}}$ i $e = 75 \cdot d = 75 \cdot 2 = \underline{150 \text{ mm}}$. Dužina antene $c = 0{,}95 \cdot \lambda/2 = 0{,}95 \cdot 75/2 = \underline{35{,}62 \text{ m}}$.

136. — Zadano je $f = 800$ kHz; traži se h_1, h_2, h_3, h_4. Prema dijelu I, jedn. (66) slijedi: $\lambda = 3 \cdot 10^5/f = 300\,000/800 = 375$ m. Prema odsjeku 407. dobivamo za *Marconijevu antenu:* $h_1 = 0{,}95 \cdot \lambda/4 = 0{,}95 \cdot 375/4 = \underline{89 \text{ m}}$, prema odsjeku 419. *za jednožičnu antenu sa završnim kapacitetom:* $h_2 = 0{,}44 \cdot \lambda = 0{,}44 \cdot 375 = \underline{165 \text{ m}}$, prema odsjeku 420. za *visinski dipol:* $h_3 = 0{,}4 \cdot \lambda = 0{,}4 \cdot 375 = \underline{150 \text{ m}}$ i prema odsjeku 421. za *titrajni stup:* $h_4 = 0{,}5 \cdot \lambda = 0{,}5 \cdot 375 = \underline{187{,}5 \text{ m}}$.

137. — Nadomjesna shema prikazana je na slici k rješenju zadatka 137. (usporedi također rješenje zadatka 124). Obje polovice kapaciteta

za ugađanje prikazane sa C_a i C_{ga1} odnosno C_{ga2} jesu kapaciteti između rešetke i anode gornje, odnosno donje elektronke, a C_{N1}, odnosno C_{N2} jesu kondenzatori za neutralizaciju. Tačka 0 zajednička je priključna tačka na katodi.



138. — Zadano je $N_v = 160$ kW, $\mathfrak{N}_a = 300$ kW, $U_a = 10$ kV, $D = 0{,}9\% = 0{,}009$, $q = 125$ l/min, $t = 1$ h $= 60$ min; traži se N_a, I_a, μ, Q. Prema odsjeku 388. imamo: $N_a = \mathfrak{N}_a + N_v = 300 + 160 = \underline{460 \text{ kW}}$. Iz $N_a = U_a \cdot I_a$ dobivamo: $I_a = N_a/U_a = 460/10 = \underline{46 \text{ A}}$. Prema jedn. (29) bit će: $\mu = 1/D = 1/0{,}009 = \underline{111}$. Potrebna količina rashladne vode za jedan sat bit će: $Q = q \cdot t = 125 \cdot 60 = 7\,500 \text{ l} = \underline{7{,}50 \text{ m}^3}$.

139. — Zadano je $f_1 = 47{,}8$ MHz $= 47\,800$ kHz, $b = 2$ MHz, $f_1' = 800$ kHz; traži se λ_1, λ_2 i λ_3. Prema dijelu I, jedn. (66) imamo: $\lambda_1 = 3 \cdot 10^5/f_1 = 300\,000/47\,800 = \underline{6{,}28 \text{ m}}$. Ukupno područje za prijenos slika proteže se od $f_1 - (b/2) = 47{,}8 - 1 = 46{,}8$ MHz do $f_1 + (b/2) = 47{,}8 + 1 = 48{,}8$ MHz, odnosno od $\lambda_2 = 300\,000/46\,800 = \underline{6{,}41 \text{ m}}$ do $\lambda_3 = 300\,000/48\,800 = \underline{6{,}15 \text{ m}}$. Kako valno područje od 100 do 2 000 m odgovara području frekvencija od 3 000 do 150 kHz, dakle ukupno obuhvaća 2 850 kHz $= 2{,}85$ MHz, mogao bi u ovom (srednje i dugovalnom) području raditi samo jedan jedini televizijski odašiljač!

140. — Zadano je $h_1 = 1\,000 + 24 = 1\,024$ m, $h_2 = 169$ m; traži se b. Iz jedn. (80) dobivamo: $b \approx 3{,}57\ (\sqrt{1024} + \sqrt{169}) \approx 3{,}57\ (32 + 13) \approx 3{,}57 \cdot 45 \approx \underline{161 \text{ km}}$.

141. — Zadano je $C_{ga} = 10$ pF $= 10^{-11}$ F, $\lambda = 3$ m, $\varrho = 50$; traži se L i $\mathfrak{R}_a$. Iz uvjeta za rezonanciju $\omega_0^2 \cdot L \cdot C_{ga} = 1$ imamo za titrajni krug L—C_{ga} : $L = 1/(\omega_0^2 \cdot C_{ga}) = 1/(4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C_{ga})$; kod frekvencije $f_0 = 3 \cdot 10^8/3 = 10^8$ Hz imat ćemo: $L = 1/(4 \cdot \pi^2 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-11}) = [1/(4 \cdot \pi^2)] \cdot 10^{-5} \doteq 0{,}0253 \cdot 10^{-5}$ H $= \underline{0{,}253 \text{ mH}} = 253\ \mu$H. Aktivni otpor bit će prema tome (vidi dio I, jedn. 60): $\mathfrak{R}_a = \varrho \cdot \omega_0 \cdot L = 50 \cdot 2\pi \cdot 10^8 \cdot 0{,}0253 \cdot 10^{-5} = 2\,530 \cdot \pi \approx 7\,950\ \Omega = \underline{7{,}95 \text{ k}\Omega}$. Isti rezultat dobit ćemo iz $\mathfrak{R}_a = \varrho\,[1/(\omega_0 \cdot C_{ga})]$, jer je u slučaju rezonancije $\omega_0 \cdot L = 1/(\omega_0 \cdot C_{ga})$.

142. — Udvostručenju frekvencije u tri stupnja odgovara osmorostruka frekvencija ($2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$). Dužina vala nakon ovakvog uvišestručivanja bit će dakle: $\lambda = 64/8 = \underline{8\ \text{m}}$.

143. — Zadano je $L = 1{,}8\ \mu\text{H} = 1{,}8 \cdot 10^{-6}\ \text{H}$, $C_1 = 10\ \text{pF}$, $C_2 = 20\ \text{pF}$, $C_3 = 55\ \text{pF}$; traži se λ, λ', Δf po jednom stupnju skale. Najmanji kapacitet za ugađanje (serijski spoj od C_1 i C_2) iznosi: $C = C_1 \cdot C_2/(C_1+C_2) = 10 \cdot 20/(10 + 20) = 6{,}67\ \text{pF} = 6{,}67 \cdot 10^{-12}\ \text{F}$, a najveći kapacitet za ugađanje (serijski spoj od C_1 i C_3) bit će: $C' = 10 \cdot 55/(10 + 55) = 8{,}54\ \text{pF} = 8{,}46 \cdot 10^{-12}\ \text{F}$. Prema dijelu I, jedn. (54) dobiva se početna frekvencija: $f = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) = 1/(2\pi \sqrt{1{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-12}}) = 10^9/(2\pi \cdot \sqrt{12{,}01}) = 45{,}92 \cdot 10^6\ \text{Hz} = 45{,}92\ \text{MHz}$ i konačna frekvencija: $f' = 1/(2\pi \cdot \sqrt{1{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 8{,}46 \cdot 10^{-12}}) = 10^9/(2\pi \cdot \sqrt{15{,}23}) = 40{,}78 \cdot 10^6\ \text{Hz} = 40{,}78\ \text{MHz}$. Ovim frekvencijama odgovara prema dijelu I, jedn. (65) dužina vala: $\lambda = 3 \cdot 10^8/(45{,}92 \cdot 10^6) = 6{,}53\ \text{m}$ i $\lambda' = 3 \cdot 10^8/(40{,}78 \cdot 10^6) = 7{,}36\ \text{m}$. Ugađanjem se obuhvaća dakle područje od $\underline{6{,}53 \text{ do } 7{,}36\ \text{m}}$. Razlici frekvencija $\Delta f = f - f' = 45{,}92 - 40{,}78 = 5{,}14\ \text{MHz}$ odgovara 100^0 na skali te na jedan stupanj otpada $5{,}14/100 = 0{,}0514\ \text{MHz}$ ili $\underline{51{,}4\ \text{kHz}}$.

144. — Zadano je $C_š = 20\ \text{pF} = 2 \cdot 10^{-11}\ \text{F}$, $\lambda_1 = 5\ \text{m}$, $\lambda_2 = 7\ \text{m}$, $\lambda_3 = 10\ \text{m}$, $\varrho = 50$; traži se $\mathfrak{R}_{g1}$, $\mathfrak{R}_{g2}$, $\mathfrak{R}_{g3}$. Prema dijelu I, jedn. (65) bit će odgovarajuće frekvencije: $f_1 = 3 \cdot 10^8/5 = 60{,}0 \cdot 10^6\ \text{Hz}$, $f_2 = 3 \cdot 10^8/7 = 42{,}9 \cdot 10^6\ \text{Hz}$ i $f_3 = 3 \cdot 10^8/10 = 30{,}0 \cdot 10^6\ \text{Hz}$. Kao otpor za izmjeničnu struju dobit ćemo: $\mathfrak{R}_{g1} = \varrho \cdot [1/(\omega_1 \cdot C_š)] = 50 \cdot [1/(2\pi \cdot 60{,}0 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-11})] = 25 \cdot 10^5/(120 \cdot \pi) = 6\,632\ \Omega = \underline{6{,}63\ \text{k}\Omega}$ i na isti način: $\mathfrak{R}_{g2} = 9\,275\ \Omega = \underline{9{,}28\ \text{k}\Omega}$, te $\mathfrak{R}_{g3} = 2 \cdot \mathfrak{R}_{g1} = \underline{13{,}3\ \text{k}\Omega}$.

145. — Zadano je $\lambda = 6\ \text{m}$ i $f' = 40\ \text{kHz} = 4 \cdot 10^4\ \text{Hz}$; traži se T, n, n'. Prema dijelu I, jedn. (6) bit će vrijeme trajanja jednog titraja $T = 1/f$. Prema dijelu I, jedn. (65) dobivamo dakle (uz $f = 3 \cdot 10^8/\lambda$): $T = \lambda/(3 \cdot 10^8) = 6/(3 \cdot 10^8) = 2 \cdot 10^{-8}\ \text{s}$ ili $0{,}02 \cdot 10^{-6}\ \text{s} = \underline{0{,}02\ \mu\text{s}}$ (0,02 milijuntih dijelova sekunde!). Prema tome je broj titraja na sekundu: $n = 1/T = 1/(2 \cdot 10^{-8}) = 0{,}5 \cdot 10^8 = \underline{5 \cdot 10^7}$. Kod superregeneracione frekvencije $f' = 4 \cdot 10^4\ \text{Hz}$ vrijeme trajanja jedne polovine superregeneracionog titraja bit će $1/(8 \cdot 10^4) = 0{,}125 \cdot 10^{-4}\ \text{s}$. Za ovo vrijeme uslijedit će u ulaznom krugu $n' = 0{,}125 \cdot 10^{-4}/(2 \cdot 10^{-8}) = 0{,}0625 \cdot 10^4 = \underline{625 \text{ titraja}}$.

146. — Zadano je $d_a = 8\ \text{mm}$, $d_g = 4\ \text{mm}$, $U_a = -40\ \text{V}$, $U_g = +400\ \text{V}$; traži se λ i f. Iz jedn. (82) imamo: $d = [400/(400 + 40)] \cdot (8 - 4) = (400/440) \cdot 4 = 3{,}6\ \text{mm}$. Prema jedn. (81) dobivamo: $\lambda = 1\,000 \cdot (0{,}6 \cdot 4 + 3{,}6)/\sqrt{400} = 6\,000/20 = 300\ \text{mm} = \underline{30\ \text{cm}}$. Vlastita frekvencija bit će dakle: $f = 3 \cdot 10^5/0{,}30 = 10^6\ \text{kHz} = \underline{1\,000\ \text{MHz}}$.

147. — Zadano je $d_a = 10\ \text{mm} = 1\ \text{cm}$ i $\lambda = 50\ \text{cm}$; traži se U_g. Iz jedn. (83) slijedi: $U_g \approx 1\,000\,000 \cdot d_a^2/\lambda^2 \approx 1\,000\,000/2\,500 = \underline{400\ \text{V}}$.

148. — Zadano je $U_a = 2{,}2\ \text{kV} = 2\,200\ \text{V}$, $\mathfrak{B} = 260\ \text{G}$; traži se λ i ϱ. Iz jedn. (87) slijedi: $\lambda \approx 13\,000/\mathfrak{B} \approx \underline{50\ \text{cm}}$ (stvarno je pod zadanim uvjetima postignuta u nekom slučaju dužina vala od 42 cm!). Nadalje dobivamo iz jedn. (84): $\varrho = 3{,}36 \cdot \sqrt{U_a}/\mathfrak{B} = 3{,}36 \cdot \sqrt{2\,200}/260 = 0{,}606\ \text{cm} = \underline{6{,}06\ \text{mm}}$.

149. — Zadano je $U_a = 500\ \text{V}$; traži se r_a/λ. Iz jedn. (86) dobivamo: $r_a = 6{,}72 \sqrt{U_a} \cdot \lambda/13\,000$ ili $r_a/\lambda = (6{,}72/13\,000) \cdot \sqrt{U_a} = 0{,}000\,517 \cdot \sqrt{500} = 0{,}01156 = \underline{1 : 86{,}5}$.

150. — *Za ultrakratke valove* imamo ova područja valova, odnosno frekvencija (vidi odsjeke 432, 458 i 478):

Metarski valovi:

$\lambda = 10\ \text{m}$ do $1\ \text{m}$, $f = 30$ do $300\ \text{MHz} = 3 \cdot 10^7$ do $3 \cdot 10^8\ \text{Hz}$

Decimetarski valovi:

$\lambda = 1\ \text{m}$ do $1\ \text{dm}$, $f = 300$ do $3\,000\ \text{MHz} = 3 \cdot 10^8$ do $3 \cdot 10^9\ \text{Hz}$

Centimetarski valovi:

$\lambda = 1\ \text{dm}$ do $1\ \text{cm}$, $f = 3\,000$ do $30\,000\ \text{MHz} = 3 \cdot 10^9$ do $3 \cdot 10^{10}\ \text{Hz}$

Mikrovalovi:

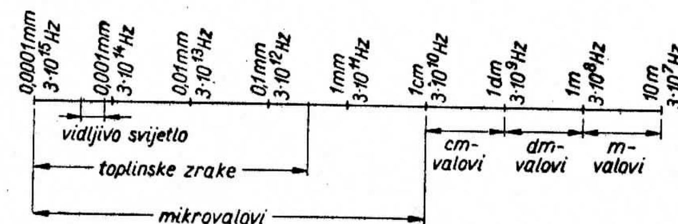
$\lambda = 1\ \text{cm}$ do $0{,}0001\ \text{mm}$, $f = 30\,000$ do $3\,000\,000\,000\ \text{MHz} = 3 \cdot 10^{10}$ do $3 \cdot 10^{15}\ \text{Hz}$

Toplinske zrake protežu se:

$\lambda \approx 0{,}3\ \text{mm}$ do $0{,}0001\ \text{mm}$, $f \approx 1\,000\,000$ do $3\,000\,000\,000\ \text{MHz}$ 10^{12} do $3 \cdot 10^{15}\ \text{Hz}$

Zrake vidljivog svjetla:

$\lambda = 0{,}0008\ \text{mm}$ do $0{,}0004\ \text{mm}$, $f \approx 375\,000\,000$ do $750\,000\,000\ \text{MHz} \approx 3{,}75 \cdot 10^{14}$ do $7{,}50 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$



Slika k rješenju zadatka 150.

Uz grafički prikaz treba još primijetiti ovo: Da bi se čitavo područje valova, odnosno frekvencija, moglo pregledno nanijeti na pravac dužine 160 mm, mora se upotrijebiti **logaritmička** razdioba. Kako porastu od 10^1 odgovara dužina od 20 mm, imat će na primjer $0,3 \cdot 10^1$ dužinu $20 \cdot \log 3 = 20 \cdot 0,477 = 9,5$ mm, ili $0,4 \cdot 10^1$ imat će dužinu $20 \cdot \log 4 = 20 \cdot 0,602 = 12,0$ mm, a $0,8 \cdot 10^1$ imat će dužinu $20 \cdot \log 8 = 20 \cdot 0,903 = 18,1$ mm.

DODATAK

DODATAK UZ I DIO

Ing. Miroslav Gregurić

Frekventna modulacija

Uvod

1. — U nastojanju da se ostvari što kvalitetniji ili vjerniji radioprijenos, odnosno prijem, pristupilo se primjeni frekventne modulacije. Kvalitetan prijem traži da tonfrekventni opseg obuhvati cijelo tonfrekventno područje od 30 do 15.000 Hz. Kvaliteta prijema ovisi također o odnosu korisnog signala prema šumu. Što je veći omjer signal-šum, dinamika prijema je bolja. Amplitudno moduliranim odašiljačima, te prijemnicima za amplitudnu modulaciju, nije se mogao postići dovoljno kvalitetan prijenos, odnosno prijem. Uslijed gusto raspoređenih amplitudno moduliranih odašiljača na srednjem valu s razmakom frekvencija od 9 kHz ograničava se u prijemniku tonfrekventni opseg na 4,5 kHz. Zbog velikog utjecaja smetnji na prijem, u amplitudnoj modulaciji potrebno je da prijemni signal bude vrlo jak. Taj se zahtjev može ostvariti samo izgradnjom odašiljača velike snage. Posljedica je toga da i međusobno vrlo udaljeni odašiljači na istom valu ometaju prijem.

Prednost je frekventne modulacije, primijenjene na ultrakratkovalnom području, u tome što ispunjava sve postavljene zahtjeve za kvalitetan prijem. Tonfrekventno područje frekventne modulacije obuhvaća cijelo čujno područje od 30 do 15.000 Hz. Smetnje mnogo manje utječu na prijem. U frekventnoj modulaciji koja se primjenjuje u radiodifuziji potrebno je da amplituda signala bude samo dva puta veća od nivoa smetnji, a da omjer signal-šum nakon detekcije bude isti kao kod amplitudne modulacije s omjerom signala i smetnji 50 : 1. Frekventna modulacija isto tako mnogo bolje potiskuje smetnje od frekventno moduliranih odašiljača na istom valu. Sve to omogućuje veliku dinamiku prijema koja bitno pridonosi kvaliteti.

Osim navedenih prednosti frekventne modulacije, postoje i prednosti u konstrukciji frekventno moduliranih odašiljača. Odašiljač, moduliran ili nemoduliran, predaje anteni konstantnu snagu. To omogućuje veći stepen djelovanja i ekonomičniju konstrukciju odašiljača. Snage frekventno moduliranih odašiljača općenito su manje, jer dovoljan je i mali omjer signala prema smetnjama da se ostvari kvalitetan prijem.

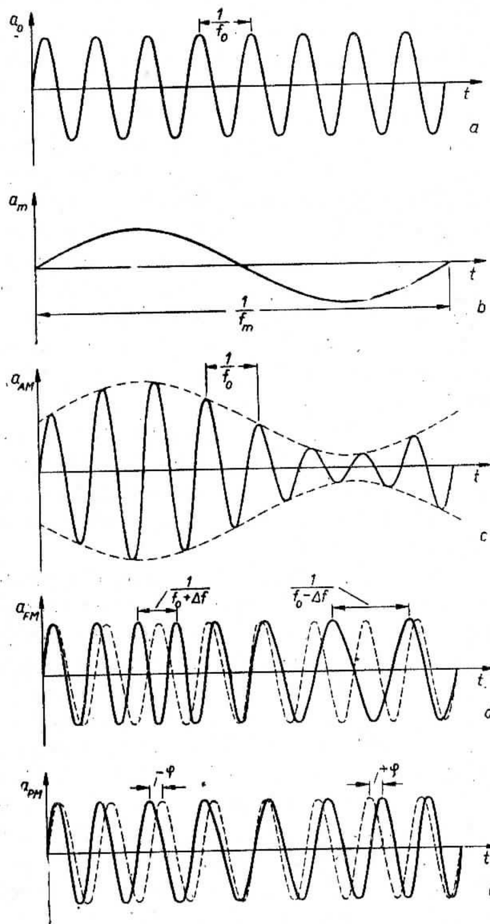
Frekventna modulacija ima i svoje nedostatke. Ona je upotrebljiva samo u ultrakratkovalnom području jer traži kanal širine 300 kHz. Ultrakratki val, zbog svog načina širenja omogućuje kvalitetan prijem samo na manju udaljenost. I konstrukcija prijemnika za frekventnu modulaciju nešto je kompliciranija. Gore navedeni nedostaci uklonjeni su gustom mrežom frekventno moduliranih odašiljača koji omogućuju na svakom mjestu kvalitetan prijem nekoliko najbližih odašiljača. Uz

frekventnu modulaciju zadržala je svoje mjesto i amplitudna modulacija, jer amplitudno modulirani odašiljači na srednjem i kratkom valu omogućuju prijem i na veliku udaljenost.

2. — Modulacija je »utiskivanje« titraja modulacionog signala niže frekvencije u visokofrekventne titraje odašiljača. Nemodulirani titraj odašiljača sinusoidnog je oblika i definiran je jednadžbom:

$$\boxed{a = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Sa A_0 je označena amplituda, ω_0 je kružna frekvencija, a $(\omega_0 t + \varphi_0)$ je kut. Postupak modulacije sastoji se u tome da se električkom titraju sinusoidnog oblika mijenja ili amplituda A_0 ili fazni kut $(\omega_0 t + \varphi_0)$ u ovisnosti o amplitudi modulacionog signala. Fazni kut može se mijenjati bilo promjenom pomaka faze φ_0 bilo promjenom kružne frekvencije ω_0. Ako se mijenja amplituda A_0, onda imademo amplitudnu modulaciju. Kod fazne modulacije mijenja se pomak faze φ_0, dok se promjenom frekvencije odašiljača f_0 vrši frekventna modulacija. Sve tri navedene vrsti modulacije prikazane su na slici 1.



Sl. 1.

Modulirani visokofrekventni titraji: a) titraji nemoduliranog odašiljača frekvencije f_0; b) titraj modulacionog signala frekvencije f_m; c) titraji amplitudno moduliranog odašiljača; d) titraji frekventno moduliranog odašiljača; e) titraji fazno moduliranog odašiljača.

U frekventnoj modulaciji vrši se prijenos modulacionih signala promjenom frekvencije odašiljača. Pri tome je promjena frekvencije odašiljača ovisna o amplitudi modulacionog signala. Na slici 1d, koja prikazuje frekventno modulirane titraje, vidi se da se za vrijeme porasta momentanih vrijednosti pozitivnog poluvala modulacionog signala povećava frekvencija odašiljača. Kod tjemene vrijednosti pozitivnog poluvala frekvencija odašiljača je najviša. U daljnjem toku frekvencija odašiljača smanjuje proporcionalno opadanju momentane vrijednosti pozitivnog poluvala, odnosno porastu momentanih vrijednosti negativnog poluvala modulacionog signala. Kod tjemene vrijednosti negativnog poluvala modulacionog signala frekvencija odašiljača je najniža. Na kraju modulacione periode frekvencija odašiljača je ista kao i na početku, jer je momentani iznos modulacionog signala jednak nuli.

Iz navedenog proizlazi da se frekvencija odašiljača mijenja kod frekventne modulacije unutar područja $f_0 + \Delta f$ i $f_0 - \Delta f$. Sa Δf definiran je *razmah frekvencije* odašiljača, a sa f_0 frekvencija nemoduliranog odašiljača. Razmah frekvencije odašiljača proporcionalan je amplitudi modulacionog signala A_m:

$$\boxed{\Delta f = k \cdot A_m} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

gdje je k faktor koji ovisi o konstrukciji odašiljača. U slučaju kad je modulacioni signal sinusoidni titraj: $a_m = A_m \cos \omega_m t$, momentana je frekvencija odašiljača:

$$\boxed{f = f_0 + \Delta f \cos \omega_m t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Uvrstivši jednadžbu (2) u jednadžbu (3) izlazi da je momentana frekvencija frekventno moduliranog odašiljača:

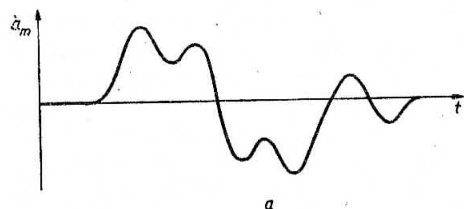
$$\boxed{f = f_0 + k\, A_m \cos \omega_m t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

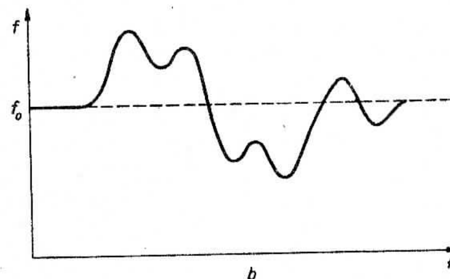
Kod frekventno moduliranog odašiljača razmah momentane frekvencije proporcionalan je momentanom iznosu amplitude modulacionog signala. Na slici 2a prikazan je nesinusoidan modulacioni signal, a na slici 2b vidi se tok promjene frekvencije odašiljača.

Da bismo mogli napisati jednadžbu frekventno moduliranog titraja potrebno je odrediti njegov trenutni fazni kut. Jednadžba kojom je određen fazni kut kod sinusoidnog titraja nemoduliranog odašiljača jest: $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$. Grafički prikaz te jednadžbe dat na slici 3, iz koje vidimo da uz konstantnu kružnu frekvenciju fazni kut raste linearno s vremenom. U tom je slučaju kružna frekvencija ω_0 definirana promjenom faznog kuta u jedinici vremena. Kod frekventne modulacije nije frekvencija stalna, nego se mijenja prema jednadžbi (4). U tom je slučaju trenutna kružna frekvencija frekventno moduliranog titraja definirana promjenom faznog kuta $\Delta\varphi$ unutar vrlo kratkog vremena Δt:

$$\boxed{\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

U frekventnoj modulaciji određena je trenutna frekvencija trenutnom amplitudom modulacionog signala. Do trenutnog faznog kuta dolazimo tako da promatramo porast faznog kuta u malim vremenskim razmacima.





Sl. 2.

Ovisnost frekvencije frekventno moduliranog odašiljača o modulacionom signalu: a) modulacioni signal; b) frekvencija frekventno moduliranog odašiljača.

Sl. 3.

Ovisnost porasta faznog kuta nemoduliranog titraja odašiljača o vremenu.

Porast faznog kuta u pojedinom kratkom vremenskom intervalu jednak je produktu trenutne kružne frekvencije i vremenskog intervala. Tako dobiveni trenutni kut iznosi:

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t \quad \ldots\ldots\ (6)$$

Označimo li sa A_0 amplitudu titraja nemoduliranog odašiljača i koristeći jednadžbu (6), dobivamo osnovnu jednadžbu frekventno moduliranog titraja odašiljača:

$$a_{FM} = A_0 \sin \left(\omega_0 t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t\right) \quad \ldots\ldots\ (7)$$

Iz gornje jednadžbe vidimo da u frekventnoj modulaciji postoji i *razmah faze* koji iznosi:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad \ldots\ldots\ (8)$$

Gornji izraz za razmah faze zove se *indeksom modulacije*. Indeks modulacije δ obrnuto je proporcionalan frekvenciji modulacionog signala.

Kod frekventno moduliranih odašiljača maksimalni razmah je normiran. Za kvalitetan prijenos govora i glazbe maksimalan razmah iznosi:

$$d = \pm 75 \text{ kHz}$$

a za prijenos govora sa suženim frekventnim područjem, na primjer za telefonske potrebe dovoljan je razmah od $\pm$ 15 kHz. Iz gornjeg izlazi da je odašiljač moduliran stopostotno kad razmah iznosi $\pm$ 75 kHz. Prema tome je stepen modulacije m definiran sa:

$$m = \frac{\Delta f}{d} \quad \ldots\ldots\ (9)$$

3. — Iz osnovne jednadžbe frekventno moduliranog titraja, a i sa slike 1d, vidi se da kod frekventno moduliranog titraja nastaje i modulacija faznog kuta. Ta modulacija faznog kuta definirana je, kako je već napomenuto, razmahom faze δ. Prema tome slijedi da kod frekventne modulacije nastaje i fazna modulacija. Vrijedi također i obrnuto, to jest kod fazne modulacije nastaje i frekventna modulacija. To je vidljivo iz slike 1e koja prikazuje faznu modulaciju. Na toj se slici vidi da je promjena faznog pomaka proporcionalna amplitudi modulacionog signala. Međutim uslijed faznog pomaka dolazi do međusobnog približavanja i udaljavanja titraja, što uzrokuje promjenu frekvencije, to jest frekventnu modulaciju.

Kod fazne modulacije razmah faze $\Delta\varphi$ proporcionalan je samo amplitudi modulacionog signala:

$$\Delta\varphi = k\, A_m \quad \ldots\ldots\ (10)$$

U slučaju kad je modulacioni signal sinusoidni titraj oblika:

$$a_m = A_m \sin \omega_m t, \quad \ldots\ldots\ (11)$$

momentana faza titraja iznosi:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi \sin \omega_m t \quad \ldots\ldots\ (12)$$

Jednadžba fazno moduliranog (PM) titraja je:

$$a_{PM} = A_0 \sin (\omega_0 t + \Delta\varphi \sin \omega_m t) \quad \ldots\ (13)$$

Uspoređujući ovu jednadžbu s jednadžbom (7) frekventno moduliranog titraja vidi se da je jedina razlika u razmahu faze, koji iznosi kod frekventne modulacije:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{k \cdot A_m}{f_m},$$

a kod fazne modulacije:

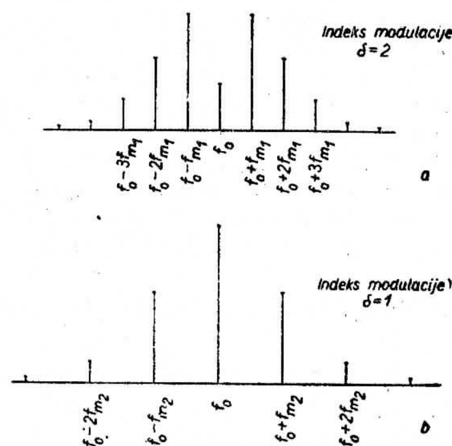
$$\Delta\varphi = k \cdot A_m$$

Fazni razmah prouzrokuje i razmah frekvencije kod fazne modulacije:

$$\boxed{\Delta f = k \cdot A_m \cdot f_m = f_m \, \Delta\varphi} \quad \ldots\ldots \quad (14)$$

Iz gornje jednadžbe slijedi da iz fazne modulacije možemo dobiti frekventnu modulaciju tako da amplitudu modulacionog signala smanjujemo proporcionalno njegovoj frekvenciji.

4. — Budući da se frekvencija i faza frekventno moduliranog odašiljača svakog trenutka mijenjaju u ovisnosti o amplitudi modulacionog signala, ovdje se uz val nosilac pojavljuje niz gornjih i donjih bočnih titraja. Frekvencija odašiljača proći će sve frekvencije unutar područja razmaha, ali ne u obliku sinusoidnih titraja. Svaka frekvencija javlja se samo u vrlo kratkom vremenu, tako da se mijenja trenutna frekvencija i trenutna faza i u samom vremenu jednog titraja. To više nije čisti sinusoidni titraj nego fazno pomaknuti titraj složen od više sinusoidnih titraja.



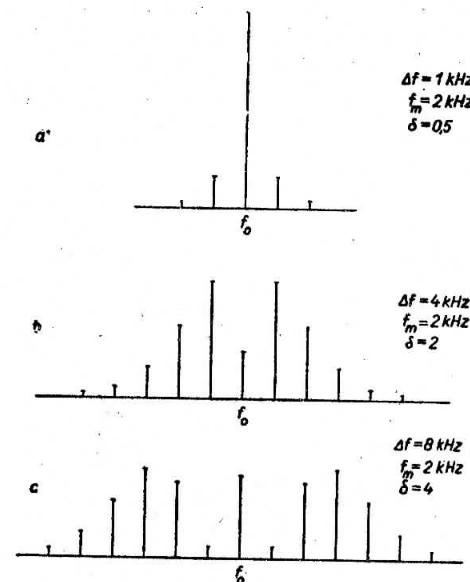
Sl. 4.

Spektar frekventno moduliranih titraja istog razmaha a različitih frekvencija modulacionog signala: a) modulaciona frekvencija $f_m = 0.5\,\Delta f$; b) $f_m = \Delta f$.

Na slici 4a i 4b vidimo spektar dvaju frekventno moduliranih titraja s istim razmahom frekvencije, ali različitim modulacionim frekvencijama, kojih je omjer 1 : 2. Amplitude obaju modulacionih signala jednake su. Iz slike spektra može se zaključiti da postoji čitav niz gornjih i donjih bočnih titraja s frekvencijama $f_0 \pm f_m$, $f_0 \pm 2 f_m$, $f_0 \pm 3 f_m$ itd., sve dok amplituda bočnih titraja ne padne na zanemarivu veličinu. Amplituda vala nosioca i bočnih titraja ovisna je jedino o modulacionom indeksu $\delta = \frac{\Delta f}{f_m}$. Zato na slici 4a i 4b usprkos istom razmahu Δf amplitude nisu iste, jer su različite frekvencije modulacionog signala, a uslijed toga je različit i indeks modulacije.

Slike 5a,b,c prikazuju spektar frekventno moduliranog titraja, s modulacionim signalom iste frekvencije, ali različite amplitude. Uslijed toga je razmah različit, a isto tako je različit i indeks modulacije. Vidimo da se uz veći indeks modulacije, dakle, u ovom slučaju uz veće amplitude modulacionog signala, pojavljuje mnogo više bočnih titraja.

Širina pojasa frekventno moduliranih titraja bila bi teoretski neizmjerno velika, ali zanemarivanjem titraja čija je amplituda manja od 1%, amplitude nemoduliranog nosioca dobiva se manje širok pojas. Tako suženi spektar frekventno moduliranih titraja prouzrokuje još dopustivo izobličenje prijenosa.



Sl. 5.

Spektar frekventno moduliranih titraja s različitim razmahom, dok je frekvencija modulacionog signala ista.

Širina pojasa ovisi o indeksu modulacije i o modulacionoj frekvenciji. Indeks modulacije ograničen je stepenom modulacije, to jest razmahom i frekvencijom modulacionog signala. Uzmimo da je amplituda niskofrekventnog modulacionog signala takva da je odašiljač 100%-tno moduliran, to jest da razmah iznosi $\pm$ 75 kHz, tada uz frekvenciju modulacionog signala od 30 Hz iznosi indeks modulacije:

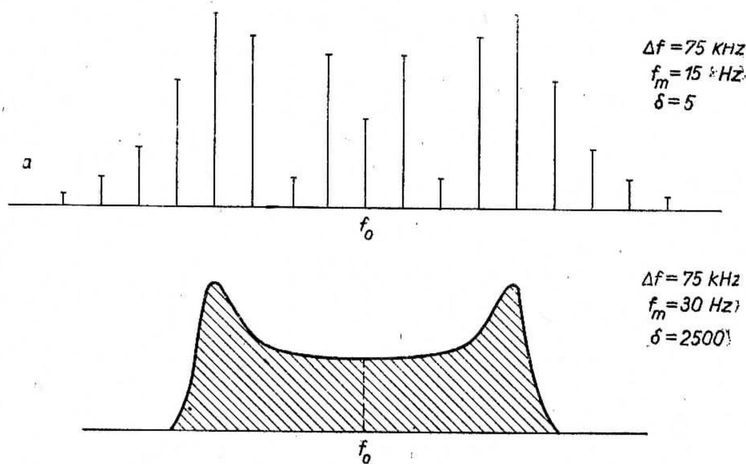
$$\delta = \frac{75.000}{30} = 2500,$$

a kod frekvencije od 15 kHz:

$$\delta = \frac{75.000}{15.000} = 5$$

Iz toga slijedi da kod niskih modulacionih frekvencija imademo veliki indeks modulacije, a to daje spektralnu sliku s velikim brojem bočnih

komponenata s uskim međusobnim razmacima. Kod više je frekvencije indeks modulacije manji i uslijed toga je manje bočnih titraja, ali s većim međusobnim razmacima. Kako se iz slike 6 vidi širinu pojasa praktički određuje indeks modulacije u ovisnosti o najvišoj modulacionoj frekvenciji. Pri prijenosu govora i glazbe amplituda najviših tonskih frekvencija malena je. Zbog tog je malen i stepen modulacije, tako da je malen razmah, a time i indeks modulacije. Za kvalitetan prijenos dovoljan je pojas širine 240 .kHz. Tim pojasom obuhvaćena je pri 100%-tnoj modulaciji s frekvencijom od 15 kHz i osma bočna frekvencija, čija amplituda iznosi još 2% amplitude nemoduliranog odašiljača.



Sl. 6.

Spektar 100%-tno frekventno moduliranog radio-difuznog odašiljača: a) modulaciona frekvencija $f_m = 15$ kHz; b) $f_m = 30$ Hz.

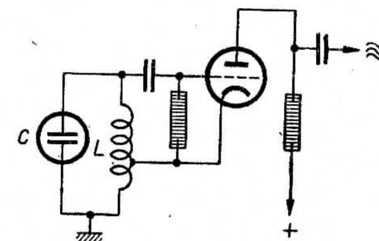
Budući se kod frekventne modulacije amplituda vala odašiljača ne mijenja, snaga odašiljača neovisna je o modulacionom signalu, to jest snaga odašiljača je konstantna. Kako bočni titraji pridonose snazi odašiljača, smanjuje se snaga i amplituda vala nosioca, tako da je ukupna suma snaga konstantna. Za indekse modulacije veće od 2 skoro je sva energija odašiljača u bočnim pojasevima, a vrlo je mala energija vala nosioca.

Pitanja

1. Što je modulacija?
2. Nabroji vrsti modulacije!
3. Čime je karakterizirana frekventna modulacija?
4. O čemu ovisi razmah frekvencije odašiljača?
5. Što je indeks modulacije?
6. Čime je definiran stepen frekventne modulacije?
7. Koja je razlika između fazne i frekventne modulacije?
8. Kakav je spektar frekventno moduliranih titraja?
9. O čemu ovisi širina pojasa frekventno moduliranih titraja?
10. O čemu ovise amplitude bočnih titraja i vala nosioca?
11. Zašto je frekventna modulacija primijenjena na ultrakratkovalnom području?
12. Nabroji prednosti frekvetne modulacije prema amplitudnoj modulaciji!

Frekventni modulatori

5. — Najjednostavniji frekventni modulator prikazan je na slici 7. To je Hartleyov oscilator u sklopu nazvanom ECO (prema engleskom »elektronski vezani oscilator«). Titrajni krug oscilatora sastoji se od zavojnice induktiviteta L i kondenzatorskog mikrofona kapaciteta C. Ovaj sklop omogućuje da se zvučnim titrajima direktno frekventno modulira oscilator. Uzmimo za primjer da se radi o sinusoidnom zvučnom titraju frekvencije ω_m. Tada je kapacitet kondenzatorskog mikrofona dan izrazom:



Sl. 7.

ECO-oscilator s kondenzatorskim mikrofonom kao elementom titrajnog kruga.

$$C = C_0 + \Delta C \sin \omega_m t \quad (15)$$

Trenutna kružna frekvencija titrajnog kruga je:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}\left(1 - \frac{\Delta C}{C} \sin \omega_m t\right)} \quad (16)$$

Kad nema zvučnih titraja frekvencija oscilatora je:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (17)$$

Uvrstivši ω_0 u jednadžbu (16) dobivamo:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{\Delta C}{C} \sin \omega_m t} \quad (18)$$

Budući da je promjena kapaciteta uslijed titranja membrane ΔC mnogo manja od kapaciteta mikrofona C, možemo jednadžbu (18) pojednostavniti:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} \sin \omega_m t\right) \quad (19)$$

Iz gornje jednadžbe izlazi da se frekvencija oscilatora mijenja u ovisnosti o amplitudi zvučnog titraja, o čemu ovisi amplituda titraja membrane koja prouzrokuje promjenu kapaciteta ΔC. Time je dokazano da je oscilator frekventno moduliran. Omjer $\frac{C}{\Delta C}$ možemo pisati i u obliku:

$$\frac{\Delta C}{C} = 2\,\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = -2\,\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \quad \ldots \quad (20)$$

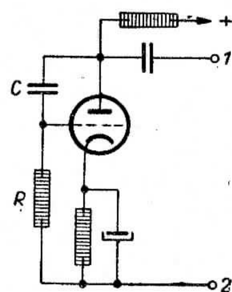
tako da uvrstivši jednadžbu (20) u jednadžbu (19) dobivamo:

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \sin \omega_m t \quad \ldots \quad (21)$$

što je jednako jednadžbi (3).

Opisani frekventni modulator s kondenzatorskim mikrofonom ima samo fizikalno značenje, jer u tehničkom smislu ne ispunjava uvjete koji su postavljeni na odašiljač, kao što su na primjer stabilnost frekvencije, normirani razmah frekvencije itd. Osim toga se odašiljaču uvijek dovodi modulacioni napon, jer tonski su uređaji odijeljeni od odašiljača.

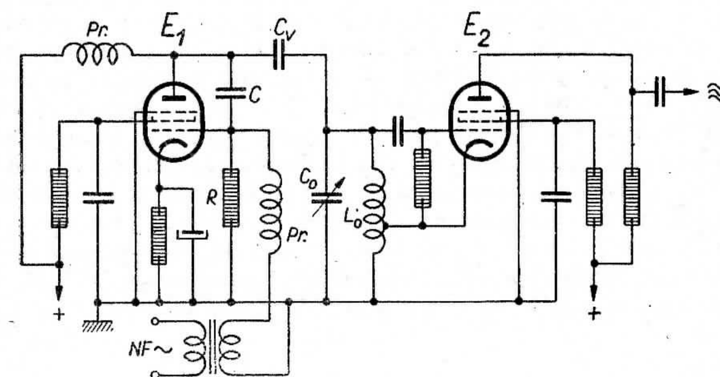
Jedno od zadovoljavajućih rješenja frekventnog modulatora je to da se umjesto kondenzatorskog mikrofona uključi u titrajni krug oscilatora odašiljača reaktantna elektronka. Reaktantnom elektronkom naziva se elektronka koja ima od anode na rešetku povratnu vezu koja zakreće fazu. Takvih sklopova ima mnogo, jedan od njih je prikazan na slici 8.



Sl. 8.
Reaktantna elektronka.

Ako na priključnice *1* i *2* priključimo visokofrekventni napon, a C i R su tako odabrani da je kapacitivni otpor kondenzatora mnogo veći od otpora R, dobivamo na rešetki pobudni napon koji je za $+ 90^0$ fazno zakrenut prema naponu na stezaljkama *1* i *2*. U istoj fazi s pobudnim naponom mijenja se anodna struja i ona je fazno za 90^0 pomaknuta ispred anodnog napona na stezaljkama *1* i *2*. Izvor priključen na stezaljke *1* i *2* opterećen je elektronkom kroz koju teče struja fazno pomaknuta za 90^0 ispred napona, a to je svojstvo kondenzatora. Primjenom istosmjernog prednapona mijenja se strmina, a time kod stalne pobude i anodna visokofrekventna struja, što uzrokuje promjenu kapaciteta koji predstavlja reaktantna elektronka u sklopu prema slici 8. Anodna struja može se osim prednaponom mijenjati i modulacionim signalom dovedenim na rešetku. Na taj način možemo vršiti promjenu kapaciteta reaktantne cijevi modulacionim naponom. Na slici 9 prikazan je modulator s reaktantnom elektronkom. Elektronka E_2 u spoju je već spomenutog ECO-oscilatora. Titrajnom krugu L_0—C_0 paralelno je priključena reaktantna elektronka E_1 u sklopu kao kapacitet. Niskofrekventni modulacioni signal dovodi se u rešetkin krug i njime se mijenja kapacitet

reaktantne elektronke. Prigušnica u anodnom krugu reaktantne elektronke je zaporna prigušnica, a C_v odjeljuje istosmjerni napon od titrajnog kruga. Povratna veza od anode na rešetku postignuta je kapacitetom C i otporom R.



Sl. 9.
Modulator s reaktantnom elektronkom.

Pitanja

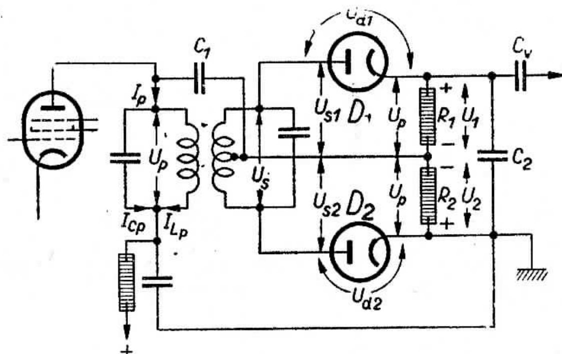
1. Prikaži i opiši sklop frekventnog modulatora!
2. Što je reaktantna elektronka?
3. Kako modulacioni signal utječe na frekvenciju oscilatora frekventnog modulatora s reaktantnom elektronkom?

Detekcija frekventno moduliranih titraja

6. — Sklopovi demodulatora za amplitudno modulirane titraje nisu upotrebljivi za detekciju frekventno moduliranih titraja. Detekcija amplitudno moduliranih titraja vrši se ispravljanjem. Međutim ispravljanjem frekventno moduliranih titraja dobiva se samo istosmjerna komponenta, jer je amplituda frekventno moduliranih titraja konstantna.

Da bi se mogla izvršiti detekcija frekventno moduliranih titraja potrebno ih je prethodno amplitudno modulirati, a zatim ispravljati. Detekcija frekventno moduliranih titraja vrši se sklopovima koji se zovu *diskriminatori*. U diskriminatoru se frekventno moduliranim titrajima mijenja amplituda proporcionalno razmahu frekvencije, a zatim se vrši ispravljanje, da bi se dobio modulacioni signal. Diskriminatora ima više vrsti; jedan od mnogo upotrebljavanih je *fazni diskriminator* prikazan na slici 10. Dio sklopa faznog diskriminatora sačinjavaju dva međufrekventna titrajna kruga. Titrajni krugovi su međusobno induktivno vezani. Sekundarni titrajni krug ima na sredini odvojak na koji se pre-

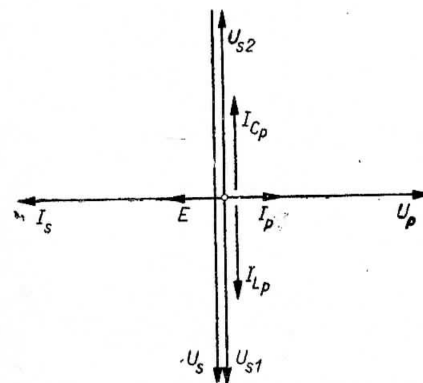
nosi napon s primarnog titrajnog kruga preko kondenzatora C_1. Funkcija je međufrekventnih titrajnih krugova u tome što mijenjaju amplitudu frekventno moduliranih titraja u ovisnosti o promjeni frekvencije. Objašnjenje toga procesa izvršit ćemo postepeno. Najprije promatrajmo napone koji vladaju na titrajnim krugovima kod nemoduliranog titraja. Napon na primarnom titrajnom krugu označen je sa U_p, a na sekundarnom titrajnom krugu je U_s. Od odvojka sekundarnog titrajnog kruga prema krajevima postoje naponi U_{s1} i U_{s2}. Ovi su naponi međusobno jednaki i protufazni pa se može pisati: $U_{s1} = -U_{s2}$. Napon U_p vlada također na otporima R_1 i R_2, jer su i oni preko C_1 vezani jednim svojim krajem na primarni titrajni krug, dok je drugi kraj otpornika R_1 preko C_2 uzemljen, a R_2 je direktno uzemljen. Napon U_{d1}, koji je priveden diodi D_1, dobivamo kao vektorsku sumu napona U_{s1} i U_p. Isto tako dobivamo da je napon $U_{d2} = U_{s2} + U_p$. Da bismo mogli vektorski prikazati napone U_{d1} i U_{d2} potrebno je proučiti fazne odnose između napona U_p i U_s. Kad je primarni titrajni krug u rezonanciji, onda je on čisti radni otpor.



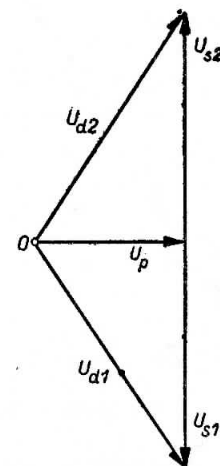
Sl. 10.
Fazni diskriminator.

Prema tome će napon U_p i anodna struja I_p biti u fazi. Kroz induktivitet L_p teče struja I_{Lp} koja zaostaje za 90^0, a kroz kondenzator C_p teče struja koja je za 90^0 ispred struje I_p. U zavojnici sekundarnog titrajnog kruga inducira se elektromotorna sila E koja je u protufazi s naponom U_p. Elektromotorna sila E zaostaje za 90^0 iza struje I_{Lp}. Sekundarni titrajni krug također je u rezonanciji, tako da će elektromotorna sila E protjerati kroz serijski spoj induktiviteta L_s i kapaciteta C_s struju I_s koja je u fazi sa E. Struja I_s stvara na zavojnici L_s pad napona U_s. Uslijed rezonancije bit će napon U_s mnogo veći od elektromotorne sile E. Napon U_s je za 90^0 pomaknut prema struji I_s. Spomenuto je da se napon U_s sastoji od dva jednaka protufazna napona U_{s1} i U_{s2}. Napon U_{s1} prethodi struji I_s, a napon U_{s2}, budući da je protufazan zaostaje za 90^0 za strujom I_s. Iz vektorskog prikaza na slici 11 vidi se da između napona U_p i U_{s1} te U_p i U_{s2} postoji fazni kut od 90^0. Na slici 12 vidimo vektorski prikaz

napona U_{d1} i U_{d2} koji su vektorska suma napona U_{s1} i U_p, odnosno U_{s2} i U_p. Kod nemoduliranog titraja naponi U_{d1} i U_{d2} su jednaki. Ispravljanjem napona U_{d1} i U_{d2} pomoću dioda D_1 i D_2 dobivamo na otpornicima R_1 i R_2 istosmjerne napone U_1 i U_2 koji su jednaki. Budući su ti naponi suprotno polarizirani i jednaki, napon između tačaka A i B jednak je nuli.



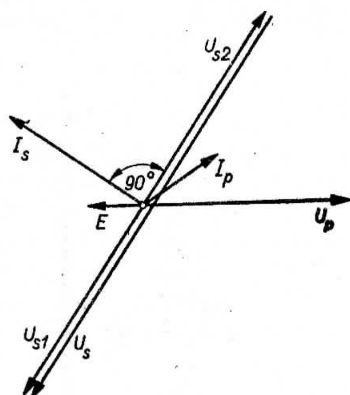
Sl. 11.
Vektorski prikaz faznih odnosa napona U_p i U_s kod rezonancije.



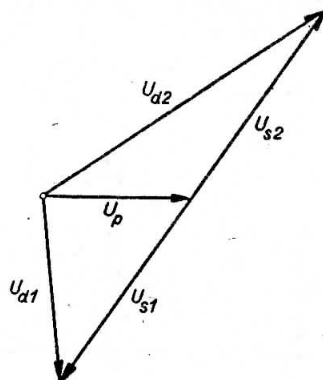
Sl. 12.
Vektorski prikaz napona U_{d1} i U_{d2} kod rezonancije.

Posve je drukčija slika kod detekcije frekventnog moduliranog titraja. Pogledajmo vektorski prikaz napona U_{d1} i U_{d2} u trenutku kad se frekvencija odašiljača promijenila uslijed modulacije. Tada titrajni krugovi nisu više u rezonanciji. Na slici 13 dan je vektorski prikaz gdje je frekvencija viša od rezonantne frekvencije. U tom je slučaju struja kroz primarni titrajni krug I_p kapacitivna i fazno je pomaknuta ispred napona U_p. I u ovom se slučaju inducira u zavojnici L_s elektromotorna sila E koja je u protufazi s naponom U_p. Samo sada serijska veza induktiviteta L_s i kapaciteta C_s daje induktivni otpor i uslijed toga struja I_s fazno zaostaje za naponom E. Struja I_s opet stvara na zavojnici L_s pad napona U_s koji je za 90^0 pomaknut ispred struje I_s. Fazni pomak između napona U_p i U_s sada je različit od 90^0. I u ovom su slučaju naponi U_{s1} i U_{s2} jednaki i protufazni. Na slici 14 prikazani su vektorski naponi U_{d1} i U_{d2}. Ti naponi više nisu po veličini jednaki. Visokofrekventni naponi U_{d1} i U_{d2} nakon ispravljanja pomoću diode D_1 i D_2 stvaraju istosmjerne napone U_1 i U_2 na otporima R_1 i R_2. Ovi istosmjerni naponi približno su jednaki tjemenoj vrijednosti napona U_{d1} i U_{d2}. Promjena istosmjernih napona U_1 i U_2 linearno je ovisna o promjeni amplituda napona U_{d1} i U_{d2}. Sada

suma suprotno polariziranih istosmjernih napona U_1 i U_2 nije više nula, nego se između tačaka A i B pojavljuje napon koji je jednak njihovoj razlici. Razlika napona U_1 i U_2 to je veća što je veći razmah frekvencije.

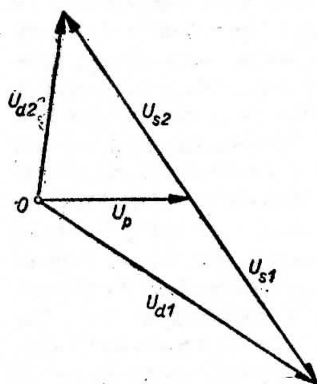


Sl. 13.
Vektorski prikaz faznih odnosa napona U_p i U_s izvan rezonancije ($f > f_0$).

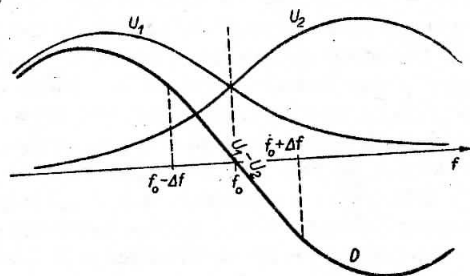


Sl. 14.
Vektorski prikaz napona U_{d1} i U_{d2} izvan rezonancije ($f > f_0$).

Kako je razmah ovisan o amplitudi modulacionog signala, to će napon koji nastaje između tačaka A i B biti proporcionalan modulacionom signalu. Preko kondenzatora C_v odvodimo detektirani modulacioni signal. Kondenzator C_2 malog je kapaciteta, tako da ne odvodi na masu tonfrekventni signal. Slika 15 daje vektorski prikaz napona U_{d1} i U_{d2} kad je frekvencija frekventno moduliranog odašiljača niža od frekvencije



Sl. 15.
Vektorski prikaz napona U_{d1} i U_{d2} izvan rezonancije ($f < f_0$).

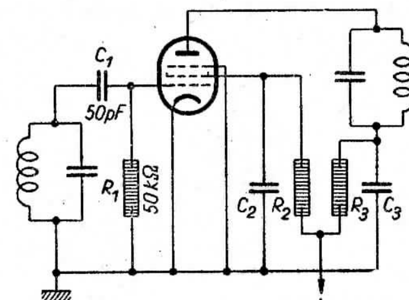


Sl. 16.
Karakteristika detekcije faznog diskriminatora.

nemoduliranog odašiljača. Na slikama 14 i 15 vidimo da se naponi U_{d1} i U_{d2} mijenjaju u ovisnosti o frekvenciji odašiljača. Slika 16 prikazuje ovisnost napona U_1 i U_2 o frekvenciji odašiljača. Razlika napona U_1 i U_2 prikazana je krivuljom D. Vidimo da je na rezonantnoj frekvenciji razlika jednaka nuli. Drugim riječima, između tačaka A i B nema napona. Promjenom frekvencije odašiljača javlja se između tačaka A i B napon proporcionalan naponu koji prikazuje krivulja D. Krivulja D je prema tome karakteristika detekcije faznog diskriminatora. Radi što manjeg izobličenja detekcija se vrši na linearnom dijelu krivulje D. Krivulja D mora da bude linearna u području razmaha frekvencije odašiljača $f_0 \pm \Delta f$.

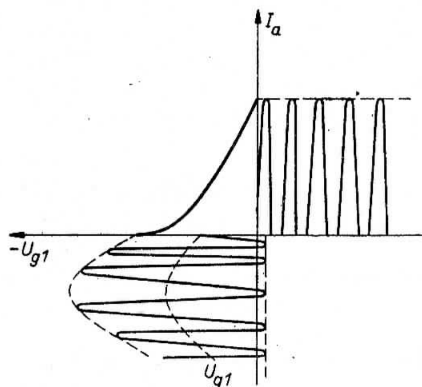
7. — Kako je u uvodu napomenuto, frekventna modulacija smanjuje smetnje kod prijema. Ta se prednost ostvaruje samo uz uvjet da diskriminator ne reagira na promjenu amplituda frekventno moduliranih titraja. Međutim kod faznog diskriminatora amplituda detektiranog modulacionog signala ovisna je i o amplitudi frekventno moduliranih titraja. Uzrok ovom nepoželjnom svojstvu faznog diskriminatora je u tome što se promjenom aplituda frekventno moduliranih titraja mijenja proporcionalno i napon U_1 i U_2 uzrokuje i promjenu njihove razlike, U_2 uzrokuje i promjenu njihove razlike, koja je detektirani modulacioni signal. Uslijed toga bi svaka promjena amplituda frekventno moduliranih titraja, koja može nastati na primjer na putu od odašiljača do prijemnika, od antenskog ulaza do diskriminatora, kvarila kvalitetu prijema. Da bismo imali kvalitetan prijem potrebno je spriječiti da promjene amplituda frekventno moduliranih titraja dopru do faznog diskriminatora. U tu svrhu stavlja se ispred diskriminatora sklop koji dovodi diskriminatoru frekventno modulirane titraje konstantne amplitude. Takav se sklop zove ograničavač (limiter).

Najjednostavniji sklop ograničivača je audion s pentodom koja ima snižene napone na anodi i zaštitnoj rešetki. Sklop takvog ograničivača prikazan je na slici 17. Elektronka nema poseban izvor za prednapon, nego se on stvara ispravljanjem dovedenog signala na rešetku. Otporima R_2 i R_3 snižava se anodni napon i napon zaštitne rešetke, na kojih 50 V. Time se postiže malo pobudno područje elektronke. Pobudno područje ograničeno je pozitivnim naponom na prvoj rešetki koji prouzrokuje struju rešetke, a posljedica je da ulazni otpor, kojim elektronka opterećuje izvor, postaje vrlo malen. Drugi kraj uzbudnog područja određen je negativnim



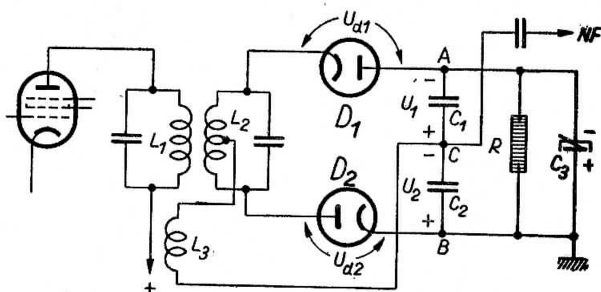
Sl. 17.
Ograničavač frekventno moduliranog signala.

naponom na prvoj rešetki kod kojeg prestaje teći anodna struja. Smanjenjem napona zaštitne rešetke i anode vej kod malog prednapona od —2 V do —3 V prestaje teći anodna struja. Ograničavanje nastupa u slučaju kad je amplituda frekventno moduliranog titraja veća od pobudnog područja. U tu svrhu dovodimo na ulaz u ograničavač frekventno moduliran signal s tako velikom amplitudom da i pri nastalim kolebanjima amplituda, elektronka bude uvijek potpuno pobuđena (vidi sliku 18). Struja rešetke ograničava pozitivnu amplitudu frekventno moduliranog signala na rešetki, dok djelovanje negativne amplitude signala na anodnu struju prestaje ispod donjeg koljena $I_a - U_g$ karakteristike. Uslijed toga dolazi do izobličenja u anodnom krugu. Nastali viši harmonički ne smetaju, jer se u anodnom krugu nalazi titrajni krug ugođen na osnovni harmonik. Član $R_1 - C_1$ u krugu rešetke mora da ima malu vremensku konstantu (2 do 10 μ sek) da bi i pri kratkotrajnim impulsima ograničavanje bilo uspješno. Pojačanje sklopa ograničivača je maleno, a to traži veće pojačanje međufrekventnih stupnjeva ispred njega. To je mana faznog diskriminatora, jer time se komplicira konstrukcija aparata. Zbog toga su razvijeni sklopovi diskriminatora koji ne reagiraju na kolebanja amplituda frekventno moduliranih signala.



Sl. 18.
Karakteristika ograničavača.

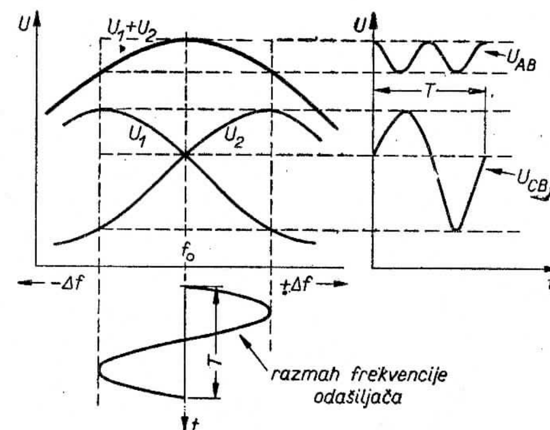
8. — Konstruktivno rješenje diskriminatora, koji ima tražena svojstva, predstavlja *»ratio-detektor«*. Taj engleski naziv usvojen je u svjetskoj stručnoj literaturi, pa je prihvaćen i u našoj. Shema ratio-detektora prikazana je na slici 19. Osnovna razlika između ratio-detektora i faznog



Sl. 19.
Ratio-detektor.

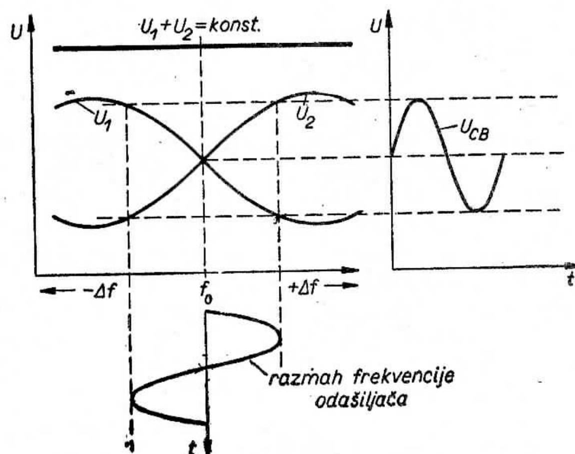
diskriminatora je u tome što su diode spojene tako da su im smjerovi propuštanja suprotni. Umjesto kapacitivne veze između primarnog titrajnog kruga i sredine zavojnice sekundarnog kruga preko kondenzatora C_1 (slika 10), postoji kod ratio-detektora veza pomoću zavojnice L_3, koja je induktivno vezana samo sa zavojnicom primarnog titrajnog kruga. Primarni i sekundarni titrajni krug u oba su diskriminatora međusobno induktivno vezani. Djelovanje visokofrekventnog dijela ratio-detektora isto je kao i faznog diskriminatora. Amplituda visokofrekventnih napona na diodama U_{d1} i U_{d2} ovisna je i ovdje o razmahu frekvencije, kao i kod faznog diskriminatora.

Vektorski prikazi visokofrekventnih napona i struja na slikama 11, 12, 13, i 14 vrijede i za ratio-detektor. Visokofrekventni signali dovode se diodama preko kondenzatora C_1 i C_2. Ispravljanjem visokofrekventnih napona U_{d1} i U_{d2} nastaju na kondenzatorima C_1 i C_2 istosmjerni naponi U_1 i U_2 koji su približno jednaki tjemenoj vrijednosti visokofrekventnih napona U_{d1} i U_{d2}. Uslijed toga što su diode D_1 i D_2 ovdje spojene tako da su im smjerovi propuštanja suprotni, istosmjerni su naponi na kondenzatorima C_1 i C_2, U_1 i U_2 polarizirani u istom smjeru. Prema tome između tačaka A i B imamo sumu napona U_1 i U_2, a ne razliku kao kod faznog diskriminatora. Kad ne bi bio priključen kondenzator C_3 imali bismo između tačaka A i B napon koji bi se mijenjao u ovisnosti o razmahu frekvencije. Na slici 20 prikazan je dijagram sume napona U_1 i U_2 u ovisnosti o razmahu frekvencije. Ta krivulja potpuno je neprikladna za detekciju, jer detektirani niskofrekventni signal ima dvostruku frekvenciju moduliranog signala. Slika 20 prikazuje nam još i napon između tačaka A i C. To je napon proporcionalan naponu U_2. Vidimo da i ta krivulja ne zadovoljava, jer je detekti-



Sl. 20.
Karakteristika detekcije ratio-detektora bez kondenzatora C_3.

rani signal jako izobličen. Sva ova razmatranja provedena su bez kondenzatora C_3. Sada uključimo kondenzator C_3. To je kondenzator kapaciteta od 2 do 5 μF. Kondenzator C_3 i otpor R imaju vremensku konstantu od 0,1 do 0,25 sek. Kondenzator C_3 nabije se na srednju vrijednost sume napona U_1 i U_2 koji vladaju na kondenzatorima C_1 i C_2. Uslijed velike vremenske konstante napon na kondenzatoru C_3 nije kadar slijediti promjene napona između tačaka A i B koje su vrlo brze i u ritmu frekvencije modulacionog signala. Djelovanje kondenzatora C_3 pri promjenama koje su brže od vremenske konstante takvo je kao da je umjesto njega priključena baterija istog napona koji vlada u kondenzatoru C_3. Kako je unutarnji otpor baterije malen, ona jače opterećuje ispravljački sklop kad je suma napona U_1 i U_2 veća od napona baterije. Nasuprot tome kad je suma napona U_1 i U_2 manja od napona baterije onda baterija ne opterećuje ispravljački sklop, a dodatno nabija kondenzator C_1 i C_2, tako da je suma tih napona uvijek jednaka



Sl. 21.
Karakteristika detekcije ratio-detektora.

naponu baterije. Uslijed toga što kondenzator C_3 poput baterije različito opterećuje ispravljački sklop, suma je istosmjernih napona U_1 i U_2 na kondenzatorima C_1 i C_2 konstantna. Zbog toga istosmjerni napon između tačaka A i B ne koleba u ritmu modulacionog signala.

Sada treba promatrati kako djeluje priključak kondenzatora C_3 na napone U_1 i U_2. Naponi U_1 i U_2 približno su jednaki tjemenoj vrijednosti visokofrekventnog napona U_{d1} i U_{d2}. Uslijed djelovanja kondenzatora C_3 dolazi do različitog opterećenja sklopa ispravljača, a i titrajnog kruga, što uzrokuje odgovarajuću promjenu amplituda napona U_{d1} i U_{d2}, tako da im je suma uvijek konstantna. Krivulje napona U_1 i U_2, koje prikazuju ovisnost napona o promjeni frekvencije, razlikuju se kad je uključen kondenzator C_3 od onih bez kondenzatora C_3. Te

krivulje u ovisnosti o razmahu frekvencije prikazane su na slici 21, gdje se jasno vidi da je promjena napona bilo na kondenzatoru C_1 bilo na C_2 proporcionalna modulacionom signalu. Time što je kod ratio-detektora suma napona U_1 i U_2 konstantna, postignuta je linearna krivulja detekcije. U ratio-detektoru onemogućeno je djelovanie brzih promjena amplituda frekventno moduliranih titraja koje nastaju uslijed parazitne amplitudne modulacije koju prouzrokuju kratkotrajni impulsi smetnja na detektirani niskofrekventni signal. Nasuprot polaganoj promjeni amplituda frekventno moduliranih titraja, koje nastaju uslijed promjene jakosti polja, uzrokuju polagane promjene napona na kondenzatoru C_3, ali te su promjene nečujne za uho. Vrlo dobro potiskivanje smetnji u detektiranom niskofrekventnom signalu dobiva se kombinacijom sklopa ograničavača i ratio-detektora. Postoji mnogo različitih sklopova ratio-detektora, ali je svima principijelno djelovanje isto kao opisanog.

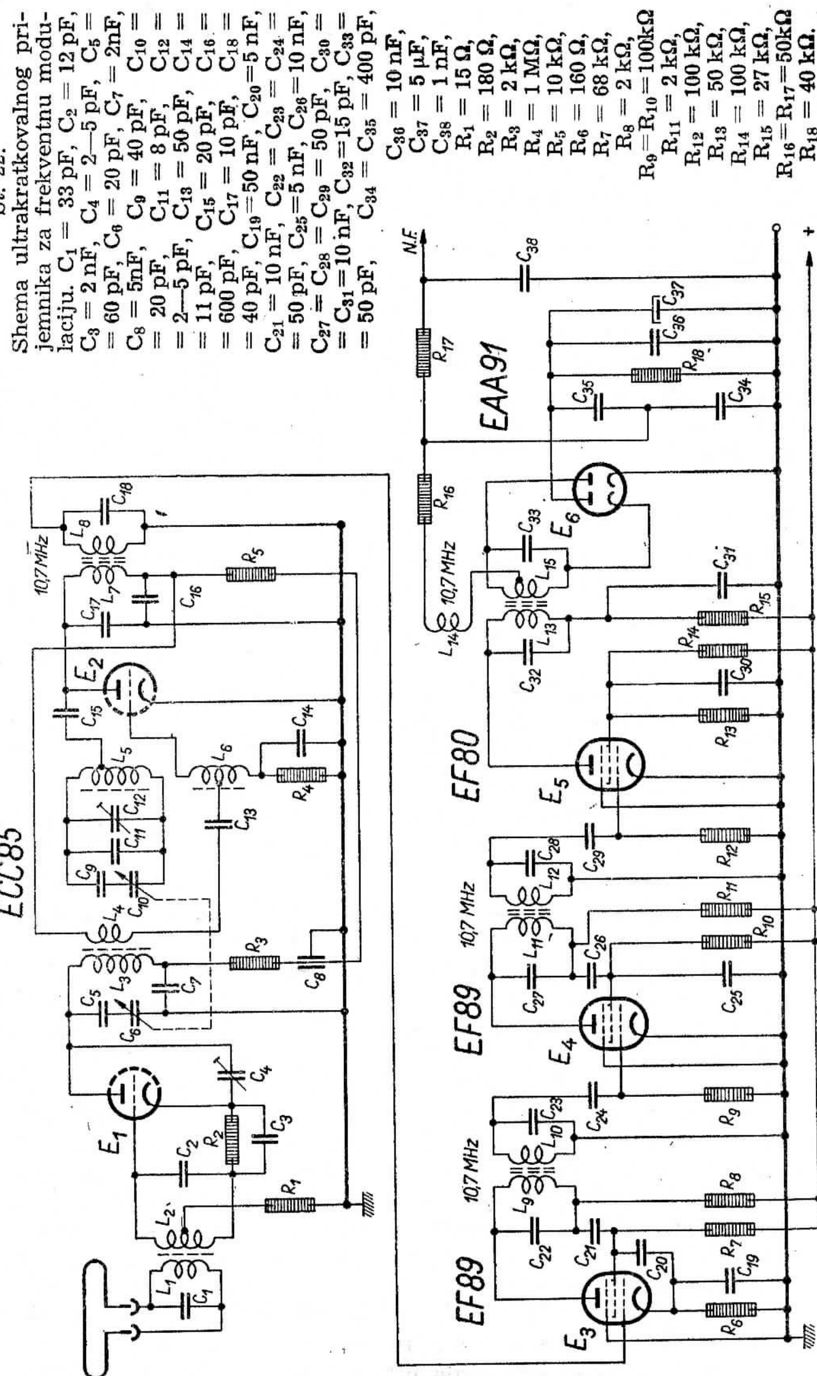
Pitanja

1. Kako se vrši detekcija frekventno moduliranih titraja?
2. Što je diskriminator?
3. Koja su svojstva diskriminatora?
4. Opiši sklop faznog diskriminatora!
5. Na koji način dolazi u sklopu diskriminatora do promjene amplitude frekventno moduliranog titraja?
6. Kako je dobivena karakteristika detekcije faznog diskriminatora?
7. Što je i čemu služi ograničavač?
8. Opiši sklop ograničavača i njegovo djelovanje!
9. Opiši sklop ratio-detektora!
10. Koja su svojstva ratio-detektora?
11. Opiši karakteristiku detekcije ratio-detektora!
12. U čemu je razlika između faznog diskriminatora i ratio-detektora?

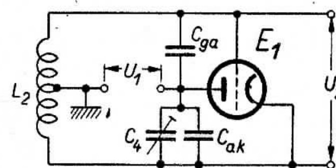
Opis ultrakratkovalnog prijemnika za frekventnu modulaciju

9. — Na slici 22 prikazana je shema ultrakratkovalnog prijemnika za frekventnu modulaciju. Prijemnik je konstruiran za područje od 87 do 100 MHz. Visokofrekventni signal prenosi se iz antene na titrajni krug $L_2 C_2$, koji pobuđuje triodu E_1. Ta je elektronka spojena kao selektivno visokofrekventno pretpojačalo. Za ultrakratkovalni predstupanj upotrebljava se trioda jer ima manji šum od pentode i time omogućuje veću graničnu osjetljivost prijemnika. Pobuda triode E_1 vrši se djelomično rešetkom, a djelomično katodom, jer je zavojnica L_2 preko odvojka uzemljena. Taj spoj daje vrlo povoljan odnos signal—šum. Mijenjanjem induktivitet L_2 ugodi se titrajni krug $L_2 C_2$ na sredinu područja prijema. Antenska zavojnica L_1 u čvrstoj je induktivnoj vezi sa zavojnicom L_2 tako da je taj titrajni krug jako prigušen uslijed opterećenja niskoomskom antenom. U anodnom krugu triode E_1 nalazi se selektivni paralelni titrajni krug. Da bi se s triodom postiglo što veće pojačanje i spriječilo osciliranje uslijed parazitnog djelovanja kapaci-

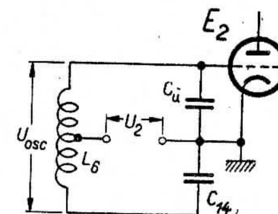
Sl. 22.
Shema ultrakratkovalnog prijemnika za frekventnu modulaciju. $C_1 = 33$ pF, $C_2 = 12$ pF, $C_3 = 2$ nF, $C_4 = 2—5$ pF, $C_5 = 60$ pF, $C_6 = 20$ pF, $C_7 = 2$nF, $C_8 = 5$nF, $C_9 = 40$ pF, $C_{10} = 20$ pF, $C_{11} = 8$ pF, $C_{12} = 2—5$ pF, $C_{13} = 50$ pF, $C_{14} = 11$ pF, $C_{15} = 20$ pF, $C_{16} = 600$ pF, $C_{17} = 10$ pF, $C_{18} = 40$ pF, $C_{19} = 50$ nF, $C_{20} = 5$ nF, $C_{21} = 10$ nF, $C_{22} = C_{23} = C_{24} = 50$ pF, $C_{25} = 5$ nF, $C_{26} = 10$ nF, $C_{27} = C_{28} = C_{29} = 50$ pF, $C_{30} = C_{31} = 10$ nF, $C_{32} = 15$ pF, $C_{33} = 50$ pF, $C_{34} = C_{35} = 400$ pF, $C_{36} = 10$ nF, $C_{37} = 5$ μF, $C_{38} = 1$ nF, $R_1 = 15$ Ω, $R_2 = 180$ Ω, $R_3 = 2$ kΩ, $R_4 = 1$ MΩ, $R_5 = 10$ kΩ, $R_6 = 160$ Ω, $R_7 = 68$ kΩ, $R_8 = 2$ kΩ, $R_9 = R_{10} = 100$kΩ, $R_{11} = 2$ kΩ, $R_{12} = 100$ kΩ, $R_{13} = 50$ kΩ, $R_{14} = 100$ kΩ, $R_{15} = 27$ kΩ, $R_{16} = R_{17} = 50$kΩ, $R_{18} = 40$ kΩ.



teta anoda—rešetka, potrebno je provesti neutralizaciju. Ovdje je neutralizacija izvedena pomoću polupromjenljivog kondenzatora C_4, čime je ostvaren izbalansirani mosni spoj prikazan na slici 23. Jednu granu mosta čine dio zamjenice L_2 i kapacitet anoda—rešetka triode, a druga je grana mosta drugi dio zavojnice L_2 i paralelni spoj kondenzatora C_4 i kapaciteta anoda—katoda triode. Most se napaja anodnim visokofrekventnim naponom U_1. Pri ravnoteži mosta napon U_2 koji vlada između rešetke i katode jednak je nuli. U tom se slučaju visokofrekventni napon iz anodnog kruga ne prenosi u krug rešetka—katoda.

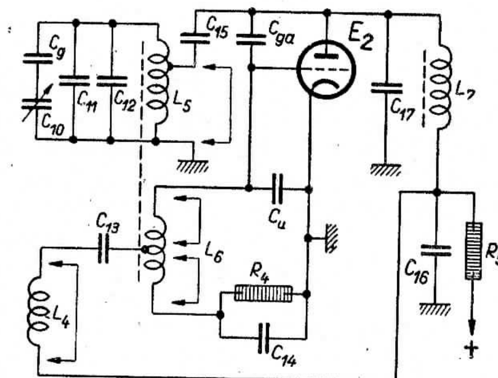


Sl. 23.
Neutralizacija ulaznog stupnja visokofrekventnog pojačala.



Sl. 24.
Mosni spoj stupnja za miješanje kojim se odjeljuje oscilator od ulaznog stupnja.

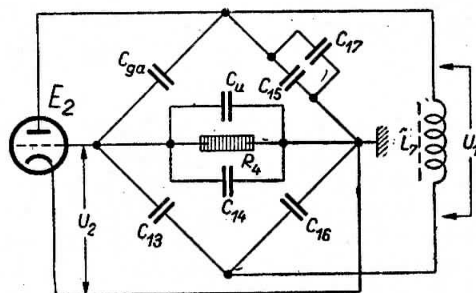
Drugi stupanj je trioda E_2 u spoju oscilatora i sklopa za miješanje. Pojačani signal s prvog stupnja dovodi se na drugi stupanj pomoću zavojnice L_4 koja je jednim krajem uzemljena preko kondenzatora C_{16}, a drugim je krajem spojena na sredinu reakcione zavojnice L_6. Na toj tački nema napona oscilatora, jer obje polovice zavojnice L_6 čine s ulaznim kapacitetom C_u i kondenzatorom C_{14} uravnotežen mosni spoj, prikazan na slici 24. Tim mostom izbjegnuta je veza između titrajnog



Sl. 25.
Upotpunjena shema stupnja za miješanje.

kruga u anodi triode E_1 i titrajnog kruga oscilatora. Na taj je način potisnuto prigušenje što ga vrši jedan titrajni krug na drugi, te povlačenje frekvencije oscilatora u ovisnosti o titrajnom krugu predstupnja. Spriječen je i prijelaz energije oscilatora na antenski krug. Trioda E_2 spojena je kao Meissnerov oscilator. Oscilatorski krug čine zavojnice L_5 s paralelnim kapacitetima C_9 do C_{12}. Kako na rešetku triode E_2 dolaze dva visokofrekventna napona, ulazni i oscilatorski, nastaje aditivno miješanje.

U anodnom krugu nalazi se međufrekventni titrajni krug. I ovdje je pomoću mosnog spoja postignuto smanjenje prigušenja međufrekventnog kruga i veće pojačanje. Sa sheme na slici 22 teško je prepoznati elemente mosnog spoja i zato je posebno prikazana trioda E_2 na slici 25, koja je upotpunjena međuelektrodnim kapacitetima. Za međufrekventnu struju predstavljaju visokofrekventne zavojnice L_4, L_5 i L_6 praktički kratak spoj. Međufrekventni titrajni krug čine zavojnice L_7 i serijska veza kondenzatora C_{16} s paralelno vezanim kondenzatorima C_{17} i C_{15}. Mosni spoj prikazan na slici 26 također je za međufrekvenciju sklop



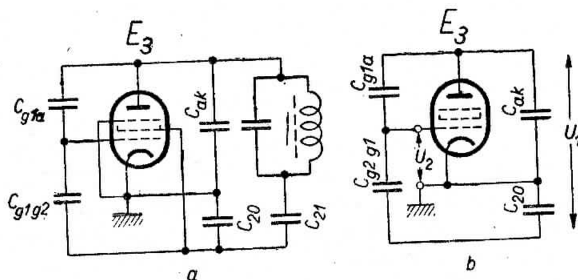
Sl. 26.
Neutralizacija stupnja za miješanje.

s reakcijom pomoću kapacitivnog djelitelja napona. Kad je most u ravnoteži, kompenzirano je povratno djelovanje kapaciteta C_{ga}, ali je međufrekventni krug još uvijek opterećen malim unutarnjim otporom triode. Smanjenjem kapaciteta kondenzatora C_{16} most nije više uravnotežen i na rešetku triode dolazi napon pozitivne reakcije. Kapacitet kondenzatora C_{16} odabire se tako da se praktički kompenzira prigušenje međufrekventnog kruga unutarnjim otporom triode. Trioda ima sada uslijed naponske pozitivne reakcije velik unutarnji otpor, a time i pojačanje poput pentode. Taj sklop mora da ima veliku stabilnost da ne nastupe oscilacije. Stabilnost sklopa postignuta je time što trioda radi istovremeno i kao oscilator, tako da je srednja strmina triode vrlo konstantna i neovisna o promjeni istosmjernih napona i starenju elektronke.

10. — Međufrekventni titrajni krugovi podešeni su na frekvenciju od 10,7 MHz. Ovako visoka međufrekvencija odabrana je zato da se što bolje potisnu smetnje koje izazivaju zrcalne frekvencije. Širina pojasa prijemnika, a time i međufrekventnog pojačala, potrebna za kvalitetan prijem, iznosi 240 kHz. Radi bolje selektivnosti prijemnika smanjuje se širina pojasa na iznos koji je 2,5 puta veći od maksimalnog razmaha, u ovom slučaju oko 190 kHz. Time nastaju prigušenja amplituda udaljenih bočnih frekvencija, koja se ponovno izravnavaju u stupnju ograničavača. No svako amplitudno izobličenje ove vrsti, usprkos tome što je eliminirano u stupnju ograničavača, ima za posljedicu dodatnu faznu modulaciju. Kako svaka fazna modulacija izaziva i frekventnu modulaciju, na ratio-detektor stiže izobličen frekventno moduliran signal. Krivulja propuštanja pojasnog filtra utječe svojim oblikom i na amplitudna i na fazna izobličenja. Dva titrajna kruga vezana iznad kritične veze daju traženu širinu pojasa, ali uslijed stvaranja sedla nastaju velika fazna izobličenja. Stvaranje sedla uslijed nadkritičke veze može se izbjeći prigušenjem titrajnih krugova, čime se i veza smanjuje na kritičnu, ili još manju. Širina takvog prigušenog pojasnog filtra samo je malo veća od širine neprigušenog pojasnog filtra. Prigušenje titrajnih krugova može se postići bilo uključivanjem paralelnog otpora bilo izvođenjem induktiviteta s malim faktorom dobrote. Ako želimo izbjeći izobličenja u pojasnom filtru, onda nastali fazni pomak mora da bude proporcionalan razmahu frekvencije. U tom slučaju izaziva frekventna modulacija jednu faznu modulaciju koja ima za posljedicu opet frekventnu modulaciju u kojoj nema izobličenja. Ako je nastali fazni pomak u pojasnom filtru proporcionalan razmahu frekvencije, onda je vremensko zakašnjenje za sve frekvencije isto. Posljedica je da na izlazu iz pojasnog filtra imademo isti frekventno modulirani signal kao i na ulazu, ali samo vremenski pomaknut. S obzirom na faznu distorziju najpovoljniji je zvonolik oblik krivulje propuštanja pojasnog filtra.

Međufrekventno pojačalo je trostepeno. Prvi stepen čini pentoda E_3 u spoju koji se ne razlikuje od uobičajenog sklopa za međufrekventno pojačalo amplitudno moduliranog prijemnika, osim što nema automatske regulacije fejdinga koja je nepotrebna kod frekventne modulacije, i što je neutralizacija provedena preko zaštitne rešetke. Slike 27a i 27b prikazuju mosni spoj kojim je provedena neutralizacija. Kondenzatorom C 21 doveden je dio protufaznog anodnog signala na zaštitnu rešetku koja preko kapaciteta zaštitne rečetke i prve rešetke C_{g2-g1} dovodi taj signal na prvu rešetku i time kompenzira djelovanje anode na prvu rešetku preko kapaciteta C_{g1-a}. Istim takovim spojem neutraliziran je i drugi stupanj s pentodom E_4. Posljednji, treći stepen, radi kao ograničavač. On potiskuje amplitudnu modulaciju nastalu uslijed linearnih izobličenja u međufrekventnom pojačalu, kao i onu koju su uzrokovale vanjske smetnje. Ako je amplituda međufrekventnog signala na rešetki ograničavača vrlo velika dolazi do smanjenja međufrekventnog signala na ratio-detektoru. Uslijed velikog pobudnog signala teče struja kroz elektronku samo u kratkom dijelu periode međufrekventnog signala,

a u preostalom vremenu elektronka je zakočena. U anodnom krugu imamo jako izobličen signal, tako da usprkos istoj amplitudi anodnog signala osnovni harmonik međufrekventnog signala opada. Na taj se način pogoršava omjer signal—šum, što omogućava prodor smetnji u niskofrekventni dio prijemnika. Da bismo spriječili preveliku pobudu stupnja za ograničavanje potrebno je da i drugi stupanj počinje ogra-



Sl. 27.
Neutralizacija međufrekventnog pojačala: a) shema sklopa; b) shema mosnog spoja neutralizacije.

ničavati kod većeg ulaznog signala na prijemniku. Drugi stupanj za male signale uobičajeno je međufrekventno pojačalo, a prednapon dobiva ispravljanjem signala na prvoj rešetki. Ograničavanje nastupa istom pri većem signalu kako bi se spriječila prevelika pobuda trećeg stupnja. Vremenske konstante R—C elemenata u rešetkinom krugu drugog i trećeg stupnja odabrane su tako da i pri vrlo kratkotrajnoj smetnji nastupa ograničenje amplitude.

Na međufrekventno pojačalo priključen je ratio-detektor s duodiodom (elektronka E_6). Funkcija ovog diskriminatora već je detaljno opisana, a jedina je razlika u tome što je u odvodu niske frekvencije uključen korekcioni član $R_{17} — C_{38}$. Taj član prigušuje više tonske frekvencije koje su izdignute u pojačalu modulacionog signala odašiljača. Na taj se način postiže još bolji omjer korisnog signala prema šumu ili smetnjama. Niskofrekventno pojačalo nije ucrtano, jer to može biti svako kvalitetno niskofrekventno pojačalo s izlaznom snagom prema potrebi. U kućnim radio-aparatima za amplitudnu i frekventnu modulaciju izvedeno je međufrekventno pojačalo zajednički za obje vrsti međufrekvencije, to jest za 468 kHz i 10,7 MHz, a odijeljeni su stupnjevi za visokofrekventno pretpojačanje, miješanje i detekciju.

Ing. Branko Somek

Fizikalne osnove tranzistora

Poluvodiči

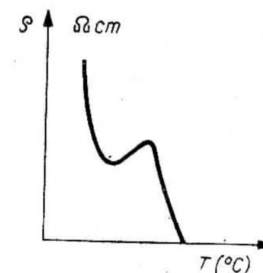
1. — Vodiči su takvi materijali kojih je veza između elektrona u vanjskoj ljusci — valentnih elektrona — i jezgre slaba, tako da se valentni elektroni lako oslobađaju i postaju slobodni elektroni. Izolatori su naprotiv materijali u kojima su elektroni u vanjskoj ljusci čvrsto vezani s jezgrom. Između tih dviju vrsti materijala nalazi se treća, nazvana poluvodičima.

Sada ćemo promatrati poluvodiče kao materijale koji nas zanimaju pri izradi tranzistora. Veličina otpora poluvodiča nalazi se u granicama između otpora vodiča i izolatora. Na primjer, specifični otpor poluvodiča germanija iznosi na sobnoj temperaturi od 25° C 60 oma·cm, bakra kao predstavnika dobrih vodiča $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ oma·cm, a izolatora kvarca 10^{17} oma·cm.

Važno je uočiti kako se otpor poluvodiča mijenja s promjenama temperature.

U vodičima, proporcionalno povišenju temperature, raste i otpor, dok se izolatori pri takvu stanju vladaju sasvim drugačije. Povišenjem temperature otpor materijala se ne mijenja, sve dok se ne postigne izvjesna temperatura na kojoj dolazi do naglog smanjenja otpora. O toj temperaturi ovisi i kvalitet izolatora.

Dijagram na sl. 1 prikazuje ovisnost otpora poluvodiča o temperaturi. Početni dio krivulje pokazuje da se materijal vlada slično izolatoru, zatim dobiva svojstva slična vodičima, a na višim temperaturama ponaša se opet kao izolator, samo s tom razlikom što je temperatura uz koju dolazi do naglog smanjenja otpora znatno niža nego kod izolatora. Na slici lako zamjećujemo da je otpor poluvodiča u vrlo velikoj mjeri ovisan o temperaturi, i da su to materijali s negativnim temperaturnim koeficijentom, što znači da im se s povećanjem temperature otpor smanjuje.

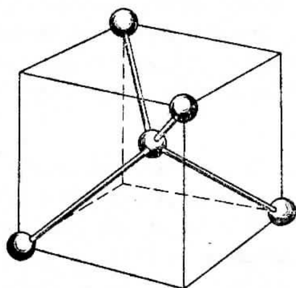


Slika 1.
Ovisnost otpora poluvodiča o temperaturi

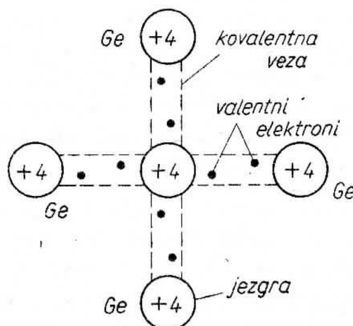
Kristalna struktura

2. — Germanij i silicij materijali su koji se najviše upotrebljavaju u proizvodnji tranzistora i dioda.

Raspored atoma u kristalnoj rešetki monokristalnog germanija, odnosno silicija, prikazan je na sl. 2. Svaki je atom vezan sa četiri susjedna atoma, tako da su razmaci između njih jednaki. Germanijev se atom sastoji od jezgre i 32 elektrona. Jezgra i 28 elektrona u popunjenim ljuskama čine inertnu jezgru, koja ne utječe na kemijska i električka svojstva materijala. Preostala 4 elektrona u vanjskoj ljusci



Slika 2.
Raspored atoma u kristalnoj rešetki monokristalnog germanija. Spojnicama su označene kovalentne veze



Slika 3.
Pojednostavljeni prikaz atoma germanija u kristalnoj rešetki.

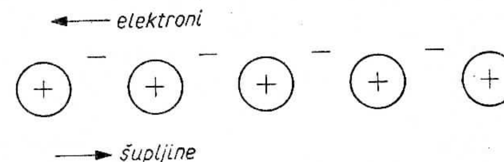
valentni su elektroni. O njima ovise kemijska i električka svojstva materijala. Zbog toga se atom može prikazati i na jednostavniji način, (sl. 3). Po dva valentna elektrona iz susjednih atoma vežu se u parove i čine tzv. kovalentnu vezu, koja drži atome u kristalnoj rešetki.

Ova razmatranja vrijede samo za savršenu kristalnu rešetku u kojoj su svi valentni elektroni vezani, to jest kad nema slobodnih elektrona, pa se germanij ponaša kao izolator. Međutim kristalna struktura poluvodiča nije nikada posve savršena. Javljaju se nesavršenosti različite prirode, koje predstavljaju izvore slobodnih elektrona. Uzrok tome je dovođenje toplinske, odnosno svjetlosne energije, ili dodavanje izvjesnih količina primjesa čistom germaniju.

3. — Na temperaturi pri apsolutnoj nuli elektroni miruju. Ali već na sobnoj temperaturi, uslijed molekularnih vibracija nastalih od toplotnog titranja kristalne rešetke, pojedini valentni elektroni povećavaju svoju energiju, pa dolazi do raskidanja pojedinih kovalentnih veza. Rezultat toga je nastajanje slobodnih elektrona. Oslobađanjem

elektrona ostala je nepopunjena jedna veza; kaže se da je nastala *šupljina*. U stvari šupljina ne postoji, to je samo odsutnost elektrona. Atom, koji je prije gubitka elektrona bio električki neutralan, postaje pozitivno nabijen. Tu pak šupljinu sada popunjava drugi elektron iz susjedne veze i tako nastaje nova, koja se kreće od atoma do atoma. Šupljinu možemo promatrati kao pozitivno nabijenu česticu čiji je naboj jednak naboju elektrona, dok je pokretljivost šupljine kroz kristal manja od one kod elektrona. To dolazi odatle što je elektron potpuno neovisna čestica, dok se šupljina može kretati samo onda kad je popuni elektron iz susjedna atoma.

Promotrimo kretanje elektrona u odnosu na šupljinu (sl. 4). Elektron izbačen iz veze stvorio je šupljinu, a atom želi popuniti tu prekinutu valentnu vezu. Taj atom privlači drugi elektron i šupljina se pojavljuje na drugom mjestu. Budući da se pojavila na mjestu gdje



Slika 4.
Međusobno kretanje šupljina i elektrona

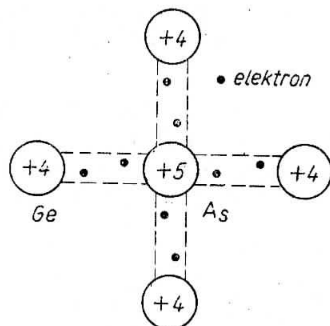
je elektron izbačen iz veze, šupljine se i elektroni gibaju u međusobno suprotnim smjerovima. Tako pod utjecajem električkog polja šupljine putuju prema negativnom polu baterije, a elektroni prema pozitivnom. Koncentracija šupljina i elektrona ovisi o temperaturi. Povišenjem temperature povećava se i koncentracija šupljina i elektrona. Srednja duljina trajanja određenog para elektron—šupljina silicija i germanija iznosi oko 100 μs.

Dodavanje kemijskih primjesa, N-germanij, P-germanij

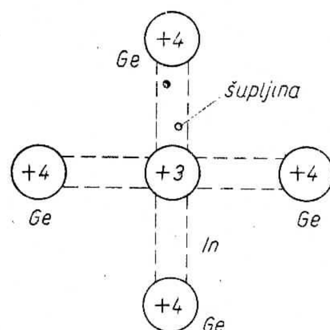
4. — Čisti germanij nije podesan za izradu tranzistora, budući da su šupljine i elektroni zastupani u istom broju. Praktična primjena moguća je tek dodavanjem izvjesnih primjesa. Već male količine primjesa, $1 : 10^7$, znatno mjenjaju koncentraciju elektrona i šupljina.

Postoje dvije vrsti primjesa: jedne stvaraju slobodne elektrone, a druge šupljine. Prvu grupu sačinjavaju peterovalentni elementi kao arsen i vanadij, dok drugu grupu sačinjavaju trovalentni elementi kao aluminij, indij, itd. Promotrimo slučaj kada je u kristalnoj rešetki zamijenjen atom germanija ili silicija sa peterovalentnim atomom, na primjer arsenom, (sl. 5). Četiri valentna elektrona datog elementa formirat će kovalentne veze s valentnim elektronima susjednih germanijevih

atoma, a peti će elektron ostati slobodan nosilac struje. Za ovaj tip primjese uobičajen je naziv *donor* (davalac), a germanij je nazvan *N-tipom*, jer su ovdje slobodni nosioci elektriciteta negativno nabijene čestice-elektroni. Donorski atom postaje gubitkom elektrona pozitivno nabijen, i čvrsto je vezan u kristalnoj rešetki. Priključujući pozitivni potencijal na kristal N-tipa elektroni će se kretati prema pozitivnom



Slika 5.
Simbolički prikaz kristalne struktu N-germanija

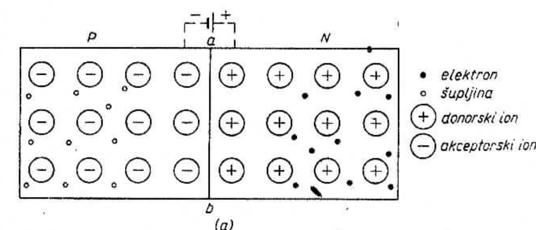


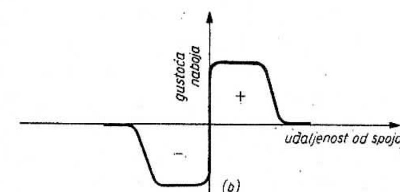
Slika 6.
Simbolički prikaz kristalne strukture P-germanija

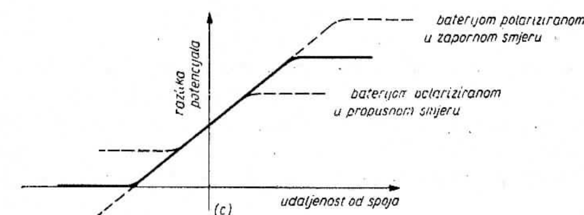
polu. Dodavanjem trovalentnog elementa (indija) atomi primjese bit će okruženi četverovalentnim germanijevim atomima, (sl. 6). Svaki takav atom zamjenjuje atome germanija i tvori kovalentne veze sa tri susjedna atoma. Da bi kompletirao i četvrtu vezu atom primjese »posuđuje« elektron iz obližnjeg germanijevog atoma. Oduzimanjem elektrona iz obližnje grupe na tom je mjestu nastala šupljina. Taj tip primjese zove se *akceptor* (primalac), a njegov atom u kristalnoj rešetki postaje negativan. Germanij sa akceptorskom primjesom zove se *P-tipom*, jer su ovdje slobodni nosioci elektriciteta pozitivni naboji — šupljine. I kod N-tipa i kod P-tipa nisu elektroni, odnosno šupljine, jedini nosioci elektriciteta. U jednom i drugom postoje i elektroni i šupljine, samo što je kod N-vrsti materijala koncentracija elektrona mnogo veća i one su glavni nosioci elektriciteta, a šupljine su sporedne, dok je kod P-tipa upravo obrnuto: glavni nosioci su šupljine, a sporedni elektroni. Koncentracija slobodnih nosilaca ne mijenja se priključenjem baterije, i u električkom pogledu poluvodič je neutralan.

PN-spoj

5. — I P-germanij i N-germanij vode struju u oba smjera. To znači da se promjenom polariteta baterije mijenja samo smjer struje, dok jačina ostaje ista. Spajanjem P-tipa i N-tipa germanija na način koji je prikazan na sl. 7 dobit ćemo ispravljački element. Spoj označen slovima *ab* nazvan je PN-spojem. Znakovi o i • na slici označavaju šupljine i elektrone, a znakovi ⊕ i ⊖ predstavljaju donorske i akceptorske atome. Na prvi se pogled čini da će šupljine iz P-područja prijeći u N-područje, a elektroni iz N-područja u P-područje, i da će na taj način doći do uništenja PN-spoja. Međutim to nije tačno; elektroni i šupljine koncentriraju se uzduž spoja i sprečavaju dalju difuziju. To je stanje uzrokovano čvrstim položajem donorskih i akceptorskih atoma u kristalnoj rešetki u odnosu na šupljine i elektrone. Donorski atomi odbijaju šupljine ulijevo u dijagramu na sl. 7, a akceptorski atomi odbijaju elektrone





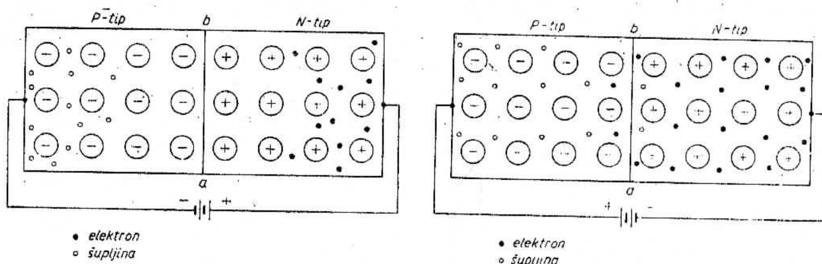


Slika 7.
PN-spoj: a) struktura b) raspodjele naboja
c) raspodjele potencijala

udesno. Barijera nastala koncentracijom šupljina i elektrona zove se *potencijalnom barijerom,* čije se djelovanje može usporediti s baterijom koja je negativnim polom priključena na P-područje, a pozitivnim krajem na N-područje. Raspodjela potencijala i naboja dana je u dijagramima na sl. 7b i 7c. Tek spajanjem vanjskog izvora napona može se PN-spoj koristiti kao ispravljački.

6. — *Polarizacija u zapornom i propusnom smjeru.* Priključenjem vanjskog izvora napona na način prikazan na sl. 8, tj. priključenjem

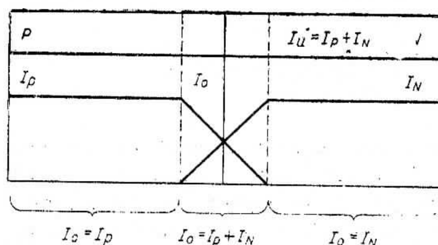
P-područja na negativni pol izvora, a N-područja na pozitivni, dobivena je polarizacija u zapornom smjeru. Negativni pol privlači šupljine koje se koncentriraju dalje ulijevo, dok se pod utjecajem pozitivnog



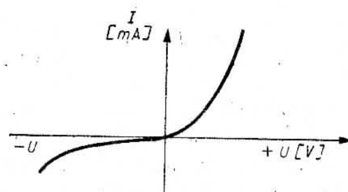
Slika 8.
Dijagram protjecanja struje kroz spoj polariziran u propusnom smjeru

Slika 9.
PN-spoj polariziran u protufaznom smjeru

pola elektroni koncentriraju dalje udesno. U tom slučaju nema protjecanja struje kroz spoj, jer se povećala potencijalna barijera (pogledaj gornju crtkanu liniju na sl. 7c). Razmotrimo sada spoj na sl. 9. To je način spajanja u propusnom smjeru. Naime, pozitivni pol izvora priključen je na P-područje, a negativni pol na N-područje. Pozitivni pol odbija šupljine i one se približavaju N-području, a negativni pol baterije pomiče elektrone prema P-području. U blizini PN-spoja dolazi do *rekombinacije* — spajanja šupljina i elektrona. Pri svakoj kombinaciji kovalentna je veza blizu pozitivnog pola baterije prekinuta i slobodni elektroni ulaze na pozitivnu stezaljku. Na taj je način nastala nova šupljina, koja se kreće prema N-području. Istovremeno elektron ulazi u kristal preko negativnog pola izvora i kreće se prema P-području. Posljedica je polarizacije PN-spoja u propusnom smjeru smanjenje potencijalne razlike u prijelaznom području spoja, tj. smanjenje potencijalne barijere (vidi donju vrtkanu liniju na sl. 7c). Ukupna struja I_0 koja protječe kroz kristal sadrži struju elektrona I_n u N-području, struju šupljina I_p u P-području, i



Slika 10.
Dijagram protjecanja struje kroz spoj polariziran u propusnom smjeru

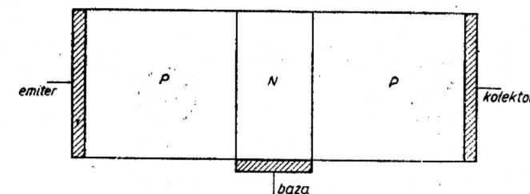


Slika 11.
Ispravljačko djelovanje PN-spoja

njihove kombinacije u području blizu spoja. Spoj polariziran u propusnom smjeru smanjuje potencijalnu barijeru koja u tom slučaju ne može spriječiti kretanje šupljina iz P-područja u N-područje i kretanje elektrona u obratnom smjeru (sl. 10). Dijagram koji pokazuje odnos napona i struje za zaporni i propusni smjer, iz kojeg se može vidjeti ispravljačko svojstvo spoja, dan je na sl. 11.

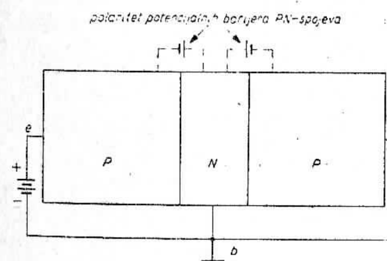
Slojni tranzistor. Tranzistorsko djelovanje

7. — Pri promatranju djelovanja PN-spoja upoznali smo njegove karakteristike, a sada ćemo pobliže razmotriti rad slojnog tranzistora. Slojni* tranzistor sastoji se od kristala poluvodiča koji ima dva PN-spoja (sl. 12). Znači da sva proučavanja PN-spoja možemo primijeniti i na tranzistor. Prema tome da li je srednje područje tranzistora *baza* poluvodič N-tipa ili P-tipa, razlikujemo PNP-tranzistore i NPN-tranzistore. Bilo da se radi o PNP-tipu ili NPN-tipu, svojstva su i djelovanje tranzistora potpuno isti za obje vrsti. Jedina je razlika u načinu priključivanja vanjskog napona, i nosiocima struje. Kod PNP-tipa glavni su nosioci struje šupljine, a kod NPN-tipa elektroni. Vanjski sloj polariziran u odnosu na bazu u propusnom smjeru jest *emiter*, dok je sloj polariziran u zapornom smjeru u odnosu na bazu nazvan *kolektorom*.

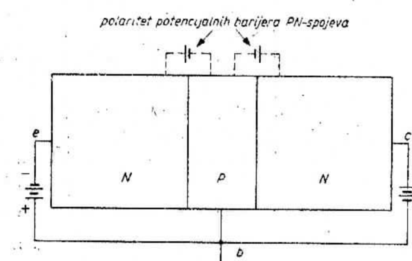


Slika 12.
PNP-slojni tranzistor — prikaz

Na sl. 13 i 14 prikazani su načini spajanja PNP-tranzistora i NPN-tranzistora. Diode emiter-baza jednog i drugog tranzistora polarizirane su u propusnom smjeru, a diode kolektor-baza u zapornom. Kod PNP-tranzistora napon je emitera za nekoliko desetinki volta pozitivniji, dok



Slika 13.
Polariziranje PNP-tranzistora

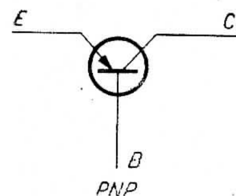


Slika 14.
Polariziranje NPN-tranzistora

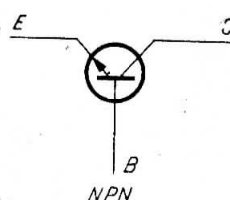
* Pored slojnog tranzistora postoji tačkasti tranzistor koji se zbog osjetljivosti prema mehaničkim i električkim opterećenjima više ne proizvodi. Izveden je od pločice baze koju na udaljenosti od 40μ dodiruju šiljatim vršcima dvije tanke žice.

je napon kolektora za nekoliko volta negativniji od napona baze. Kod NPN-tranzistora napon emitera je negativan, a kolektora pozitivan, u odnosu na napon baze.

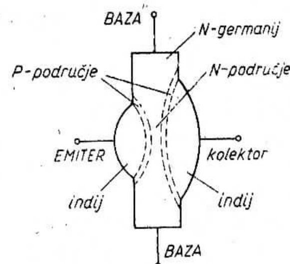
Na sl. 15 i 16 označeni su simboli za PNP-tranzistor i NPN-tranzistor. Slovo *E* označuje emiter, *B* bazu, a *C* kolektor. Smjer strelice označava o kojoj se vrsti tranzistora radi.



Slika 15. Simboličko označivanje PNP-tranzistora



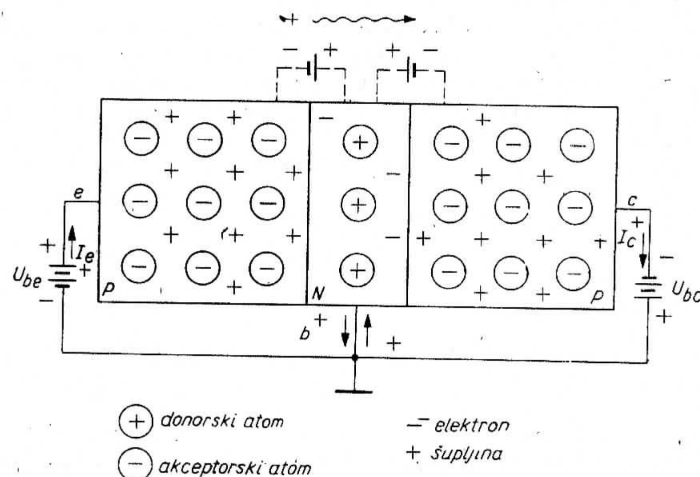
Slika 16. Simboličko označivanje NPN-tranzistora



Slika 17. Konstrukcija slojnog PNP-tranzistora dobivenog postupkom legiranja

8. — Budući da se zbog tehnoloških razloga najviše proizvode PNP-tranzistori, bit će u daljem izlaganju govora samo o njima.

Konstrukcija takvog tranzistora prikazana je na sl. 17. Baza je srednja, vrlo tanka pločica N-germanija. Utaljivanjem zrnaca indija dobili smo P-germanij. Veće zrnce označava kolektor, a manje emiter,



Slika 18. Princip rada PNP-tranzistora

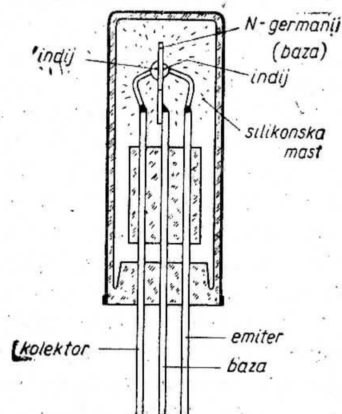
čiji je sloj mnogo jače dotiran. U razgovoru o vrstama germanija upoznali smo bit provođenja struje i vrst nosilaca elektriciteta u njima. Prema onome što smo vidjeli možemo zaključiti da u PNP-tranzistoru teče u biti struja šupljina, jer su u vanjskim P-slojevima, emiteru i kolektoru, šupljine glavni nosioci elektriciteta, dok su u sloju baze, koji je od N-materijala, glavni nosioci elektriciteta elektroni. Pozitivne šupljine iz emitera, pod utjecajem negativnog napona baze, (sl. 18), prelaze PN-spoj (dioda emiter-baza) koji je polariziran u propusnom smjeru i ulaze u sloj baze, gdje se dalje kreću difuzijom u smjeru manjih koncentracija i prema kolektorskoj strani baze. Kako na zapornom sloju baza-kolektor leži gotovo cijeli negativni napon kolektora, nastaje jako električko polje koje privlači pozitivne šupljine prema kolektoru. Izgledalo bi logično da će u području baze doći do rekombinacije šupljina sa slobodnim elektronima. Međutim zbog tankog sloja baze (oko 10 mikrona) i slabije dotiranog N-materijala skoro sve šupljine stižu do kolektorskog spoja, a samo se malen dio rekombinira, tako da je struja kolektora samo za 1—5% manja od struje emitera.

Tehnološki postupak dobivanja tranzistora

9. — Iako su već izloženi osnovni fizikalni procesi i pojmovi, ipak ćemo se pozabaviti tehničkom gradnjom i proizvodnjom tranzistora. U pogledu načina proizvodnje postoje dvije metode dobivanja tranzistora; postupak *legiranja* i postupak *izvlačenja*. Osnovna sirovina za proizvodnju tranzistora, bilo jednim ili drugim putem, jest čisti germanij ili silicij.

Postupak legiranja. Pri postupku legiranja dodaju se rastopljenom germaniju peterovalentne ili trovalentne primjese, ovisno o željenoj vrsti germanija. Poslije toga se germanij reže u vrlo tanke pločice, čija debljina nakon površinske obrade iznosi oko 120 μ. Zatim se na obje strane pločice, ako se radi o N-germaniju, utale kuglice nekog trovalentnog elementa, npr. indija. Određenim postupkom zagrijavanja takvog kristala na oko 500 °C stvaraju se PN-spojevi.

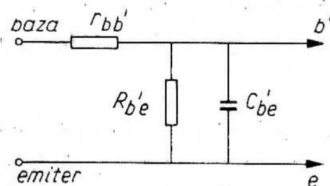
Postupak izvlačenja. Čist germanij topi se u atmosferi zaštitna plina i u talinu se unosi monokristalan germanij, koji služi kao jezgra. Temperatura taline se pomalo spušta, a kristal germanija se polako izvlači. U talinu se izmjenično dodaju peterovalentne i trovalentne primjese, tako da po redu dobivamo P-germanij ili N-germanij. Iz kristala se izrađuju štapići koji imaju tri sloja. Taj postupak je vrlo skup, a služi uglavnom za dobivanje NPN-tranzistora.



Slika 19.
Presjek slojnog tranzistora

Na sl. 19 vidimo unutarnju građu slojnog tranzistora. Tranzistorski element sastoji se od pločice germanija dobivene na gore opisan način, s utaljenim zrncima indija. Na gotov i ispitan kristal zaleme se izvodi od žica za pojedine elektrode, sve se ugradi u hermetički zatvoren stakleni ili metalni balon, koji štiti germanij od utjecaja vlage, svjetla i mehaničkog oštećenja. Stakleni balon ili metalna čahura napunjeni su silikonskom masti koja odvodi toplinu nastalu u tranzistoru, osigurava čvrstoću konstrukcije i štiti tranzistorski element od nečistoće.

10. — Jedan od osnovnih problema koji je trebalo riješiti u razvoju tranzistorske tehnike jest relativno niska gornja granična frekvencija slojnih tranzistora. Glavni faktori koji utječu na to jesu debljina sloja baze, o čemu ovisi otpor baze i vrijeme prolaza nosilaca struje kroz sloj baze, te kapacitet kolektor—baza. Otpor baze $r_{bb'}$ čini s ulaznim kapacitetom frekventno ovisan djelitelj napona. Veličine otpora i kapaciteta nisu zanemarive i njihove se vrijednosti kreću oko 100 Ω i 10 pF. Na sl. 20 dana je ekvivalentna shema ulaznog kruga tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom.



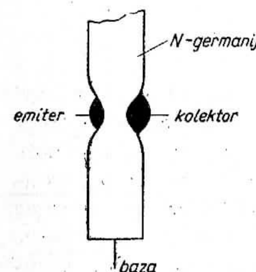
Slika 20.
Nadomjesna shema ulaznog kruga tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom

Nezgodna strana rješavanja tog problema je u tome, što udovoljavanje jednom od zahtjeva povlači pogoršanje drugog. Na primjer, pri smanjenju širine baze, pored tehnoloških teškoća koje se pri tom javljaju, ograničava se veličina kolektorskog napona, a povećava omski otpor baze i unutarnji kapacitet.

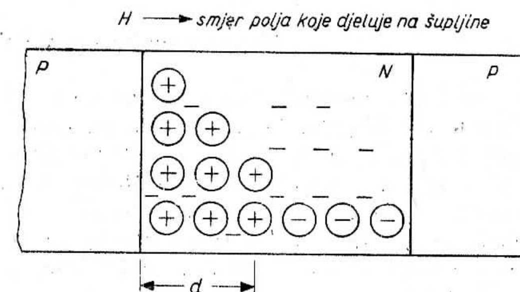
Danas je taj problem uglavnom riješen konstruktivnim i tehnološkim postupkom.

Na sl. 21 prikazana je izvedba tranzistora s *površinskom barijerom,* kod kojeg je povišenje granične frekvencije postignuto smanjenjem sloja baze.

Pločica koja služi kao baza stanjuje se tako da se jetkanjem izdube na obje strane. Kod ovog tranzistora postiže se debljina baze 10 µ, a granična frekvencija iznosi do 50 MHz.



Slika 21.
Slojni tranzistor s površinskom barijerom

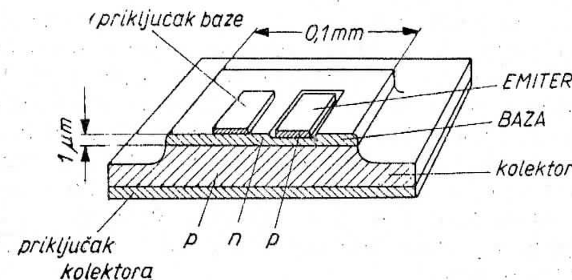


Slika 22.
Drift-tranzistor — shematski prikaz

Znatnije poboljšanje ostvareno je međutim *drift-tranzistorima,* gdje je specijalnim postupkom postignuto da se koncentracija primjesa u sloju baze eksponencijalno smanjuje od emitera prema kolektoru. Sl. 22 ilustrira ovu raspodjelu. Na taj se način u sloju baze stvara dodatno električko polje koje ubrzava kretanje nosilaca u sloju baze.

Na ovom su principu izvedeni uglavnom svi tranzistori za više frekvencije (OC170, OC171, OC614, OC615), kojih granična frekvencija iznosi preko 100 MHz.

Na *Messa-principu* proizvedeni su tranzistori koji rade i do 1000 MHz. Male debljine baze postignute su novim tehnološkim postupcima, difuzijom čvrstih tijela i isparivanjem tankih metalnih slojeva u visokom vakuumu. Sl. 23 daje shematiziran prikaz germanijeva PNP-messa-tranzistora. Tranzistor je načinjen od pločice P-materijala koji se zagrijava na određenu temperaturu od oko 700°C u atmosferi koja sadrži neku N-tip primjesu, npr. arsena ili antimona. Isipareni atomi dolaze na površinu i difuzijom prodiru u P-germanij i na taj se način stvara 1—2 mµ debeli N-sloj baze. Na sloj

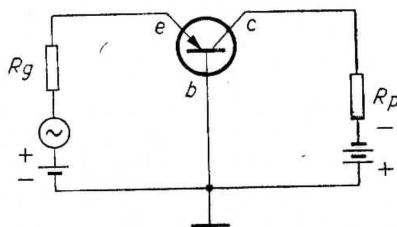


Slika 23.
Konstrukcije germanijeva PNP-Messa-tranzistora

baze u visokom vakuumu ispari se i ulegira pogodnim kalupom pločica emitera (aluminij) i kontaktne pločice baze (zlato-antimon). Kolektor je P-materijal, a na bazu i emiter ulemljeni su dvostruki zlatni priključci.

Tranzistor kao pojačalo

11. — Iz naprijed iznijetih izlaganja još uvijek nije jasan rad tranzistora kao pojačala. Budući da je, kako je već spomenuto, struja kolektora čak i nešto manja od struje emitera, čini se da ne može doći ni do kakva pojačanja. To međutim nije tačno. Naime, rad tranzistora kao pojačala zasniva se na činjenici da se otpori ulaznog i izlaznog kruga vrlo razlikuju u vrijednostima, pa je to u stvari prenošenje struje iz niskoomskog u visokoomski krug (po čemu je i sam tranzistor dobio ime: transfer-resistor).



Slika 24.
Spoj tranzistora kao pojačala

Jednostavan primjer djelovanja PNP-tranzistora kao pojačala prikazan je na sl. 24. Generator izmjeničnog signala spojen je u seriji s istosmjernom baterijom emiter—baza. Opteretni otpor R_p vezan je pak u seriju s baterijom koja služi za dovođenje istosmjernog napona kolektoru. Spoj je izveden tako da je baza zajednička elektroda ulaznog i izlaznog kruga. Razmotrimo slučaj kada nema izmjeničnog signala. Struja emitera određena je isključivo naponom emiter—baza. Povećajmo sada napon i promotrimo ga u trenutku kada je porastao u pozitivnom smjeru. Kako su izvor signala i baterija spojeni u seriju doći će do povećanja napona emiter—baza, posljedica čega je smanjenje potencijalne barijere. Time dolazi veći broj šupljina u područje baze, dolazi znači do neznatnog povećanja struje emitera, a kako se gotovo sve šupljine sabiru na kolektoru, povećat će se i struja kolektora koja teče kroz opteretni otpor R_p. Prema tome promjene signala na ulazu izazivaju skoro iste promjene struje u ulaznom i izlaznom krugu.

Kako je dioda emiter—baza polarizirana u propusnom smjeru i male će promjene napona na emiteru izazvati znatnu promjenu protoka struje kroz emiterski krug, a one će se skoro iste pojaviti i u kolektorskom krugu. Međutim na relativno velikom opteretnom otporu R_p te promjene struje izazivaju znatne promjene napona. Dakle, postignuto je pojačanje napona.

12. — Pretpostavimo sada pri kvantitativnom tretiranju tog problema da se napon signala povećao za ΔU_u. Ta će promjena napona u

niskoomskom emiterskom krugu, čiji je otpor r_e, izazvati odgovarajuću promjenu struje

$$\Delta I_e = \frac{\Delta U_u}{r_e}.$$

Međusobna ovisnost struje kolektora i struje emitera dana je faktorom strujnog pojačanja α_b, koji je definiran odnosom promjene struje kolektora prema promjeni struje emitera, uz konstantan napon kolektora

$$\alpha_b = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_e} \quad (\text{uz } U_c = \text{konst.})$$

Uslijed rekombinacije, kako smo već ustanovili, taj je faktor nešto manji od 1 i kreće se u području 0,95 — 0,99, ovisno o tipu tranzistora. Dakle, promjena struje kolektora jest $\Delta I_c = \alpha_b \Delta I_e$. Ova promjena kolektorske struje proizvodi odgovarajuću promjenu napona na opteretnom otporu R_p

$$\Delta U_c = \alpha_b \, \Delta I_e \, R_p.$$

Pojačanje napona određeno je odnosom promjene izlaznog i ulaznog napona. Stoga je $V_u = \frac{\Delta U_i}{\Delta U_u}$, ili izraženo veličinom ulaznog i opteretnog otpora $V_u = \alpha_b \cdot \frac{R_p}{r_e}$

Za α_b znamo da je približno jednak jedinici, pa su za pojačanje napona uglavnom bitne veličine ulaznog i izlaznog otpora. Odaberemo li na primjer tranzistor čiji je opteretni otpor 4000 oma, a otpor emitera 40 oma, naponsko će pojačanje biti približno 4000/40 = 100. Odmah ćemo uočiti da je postignuto i pojačanje snage. Izlazna snaga nastala uslijed promjene kolektorske struje ΔI_c na opteretnom otporu bit će $N_i = \Delta I_c^2 R_p = \alpha_b^2 \Delta I_e^2 R_p$, dok je ulazna snaga nastala promjenom struje emitera $N_u = \Delta I_e^2 r_e$. Kako je pojačanje snage dato odnosom $\frac{N_i}{N_u}$, bit će postignuto pojačanje snage čija je veličina jednaka $V_s = \alpha_b^2 \frac{R_p}{r_e}$

Tranzistorske karakteristike

Uvod

13. — Promatrajući tranzistor kao element sklopa, odmah uočavamo da je njegovo ponašanje složenije od ponašanja elektronki zbog njegova načina pobuđivanja i bilateralnog karaktera, koji se očituje u utjecaju izlaznog kruga na ulazni krug.

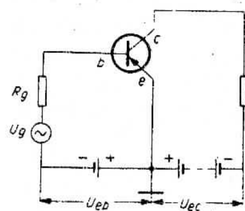
Svojstva tranzistora mogu se predočiti pomoću karakteristika dobivenih mjerenjima, nadomjesnom shemom i matematski, gledajući tranzistor kao četveropol. Karakteristike su pogodne za proučavanje sklopova kod kojih moramo voditi računa o izlaznoj snazi, nelinearnostima,

ukratko o graničnim vrijednostima tranzistora, dakle one će se koristiti kod velikih signala.

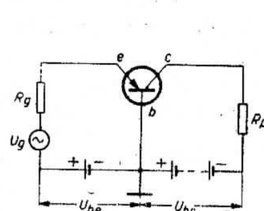
Parametri dobiveni računom matrica, u koji nećemo zalaziti, mogu se koristiti samo onda, ako su u pitanju linearni odnosi, znači kod malih signala.

14. — Budući da tranzistor ima tri elektrode — emiter, kolektor i bazu — njegova su svojstva određena poznavanjem napona i struje na tim elektrodama, znači poznavanjem međusobne ovisnosti triju napona i triju struja. To su struja baze I_b, struja emitera I_e, struja kolektora I_c, napon između baze i emitera U_{be} napon između kolektora i baze U_{cb} i napon između kolektora i emitera U_{ce}. Kako je napon U_{be} znatno manji od napona U_{cb} i U_{ce}, a isto je tako i struja baze znatno manja od struje I_c i I_e, nećemo mnogo pogriješiti ako pretpostavimo da je $I_c = I_e$ i $U_{bc} = U_{ce} = U_c$. Na taj se način broj parametara smanjio na četiri, dva napona i dvije struje.

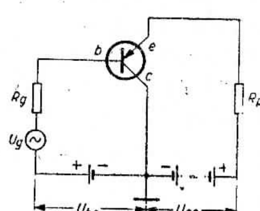
U spoju se tranzistor uvijek priključuje tako da jedna elektroda predstavlja ulaznu, a druga izlaznu stezaljku, dok je treća zajednička za izlazni i ulazni krug. Prema tome koja je elektroda zajednička, razlikujemo tranzistorski spoj sa *zajedničkim emiterom, zajedničkom bazom* i *zajedničkim kolektorom.* Tim spojevima odgovaraju spojevi sa zajedničkom katodom, zajedničkom rešetkom i zajedničkom anodom kod triode (sl. 25, 26 i 27).



Slika 25.
Tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom



Slika 26.
Tranzistor u spoju sa zajedničkom bazom

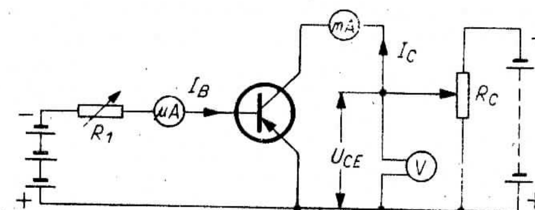


Slika 27.
Tranzistor u spoju sa zajedničkim kolektorom

U svakom od navedenih slučajeva potrebno je poznavati ovisnost napona i struje u ulaznom i izlaznom krugu.

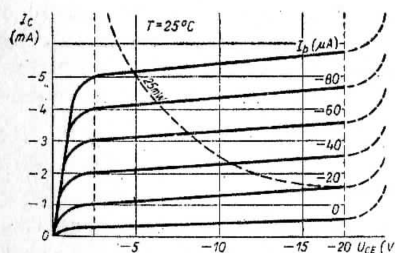
Izlazne karakteristike tranzistora

15. — Ponašanje tranzistora uz razne napone kolektora (prema zajedničkoj elektrodi) i razne ulazne struje (I_b i I_e), ovisno o vrsti spoja, dade se prikazati izlaznom karakteristikom. Načinimo u tu svrhu uređaj za mjerenje, (sl. 28). Kako vidimo na sl. 25, kod tranzistora možemo razlikovati dva strujna kruga: ulazni i izlazni. Oba kruga imaju zajedničku tačku prema kojoj se mjere svi naponi. Struja baze mjerena mikroampermetrom μA određuje se visokoomskim promjenljivim otpornikom R_1, voltmetrom V mjeri se napon kolektora, a miliampermetrom mA u kolektorskom krugu struja kolektora. Važno je napomenuti da je mjerenje potrebno vršiti uz konstantnu temperaturu okoline, zbog velike osjetljivosti tranzistora na promjenu temperature, o čemu će kasnije biti govora. Vrijednosti elemenata u shemi ovise o vrsti i tipu tranzistora.

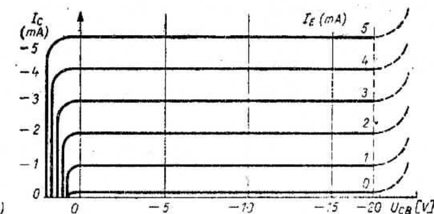


Slika 28.
Sklop za mjerenje izlaznih karakteristika

16. — Polje izlaznih karakteristika pokazuje međusobnu ovisnost struje kolektora I_c i napona kolektora U_c uz konstantnu ulaznu struju (I_b odnosno I_e). Na sl. 29 i 30 prikazane su izlazne karakteristike slojnog tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom i zajedničkom bazom, gdje su parametri struje baze I_b, odnosno struje emitera I_e. U početnom dijelu izlazne karakteristike kod tranzistora u emiterskom spoju vidimo da će i uz neznatno povećanje napona kolektora doći do znatnog porasta kolektorske struje I_c. Kod većine tranzistora to se područje nalazi unutar granice od 0,3 V. Poslije toga dolazi linearni dio karakteristike u kojem se i uz veću promjenu napona kolektora struja I_e vrlo malo mijenja. Međutim daljnjim povećanjem kolektorskog napona iznad neke određene vrijednosti dolazi do naglog porasta struje, uslijed čega može doći i do uništenja tranzistora. Zbog toga proizvođač tranzistora propisuje

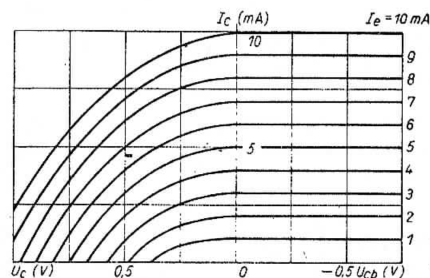


Slika 29.
Izlazne karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom



Slika 30.
Izlazne karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom

maksimalan dopušteni napon kolektora U_c, uz određenu struju baze i emitera. Kod tranzistora s uzemljenom bazom struja kolektora teče i onda kada je napon kolektora jednak nuli. To dolazi odatle što između priključka i sloja baze postoji omski otpor na kojem se stvara prednapon za kolektorsku diodu. Na sl. 31, gdje su dane izlazne karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom za male kolektorske napone, vidi se da i uz pozitivne napone kolektora još uvijek teče struja kolektora I_c.



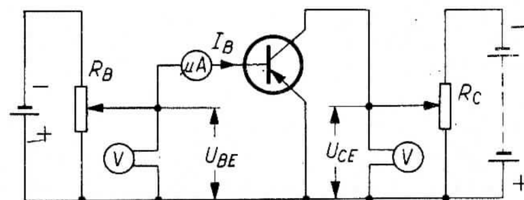
Slika 31.
Izlazne karakteristike tranzistora u spoju baze pri malim naponima kolektora

17. — Crtkano izvučena krivulja na sl. 29 granična je krivulja za maksimalnu dopustivu kolektorsku struju. Ako je naime kolektorska struja prevelika pri danom kolektorskom naponu, doći će zbog porasta struje kolektora do uništenja tranzistora. Za svaki su, dakle, tranzistor zbog toga propisani maksimalni dopustivi gubici kolektora $N_c = U_c \cdot I_c$ (W).

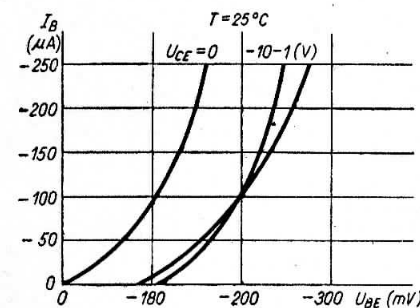
Uspoređivanjem izlaznih karakteristika jednog i drugog spoja odmah uočavamo da su karakteristike u spoju sa zajedničkom bazom položenije nego u spoju sa zajedničkim emiterom. Iz toga slijedi da je izlazni otpor tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom veći od onoga u emiterskom. Prve krivulje na sl. 29 i 30 pokazuju da i uz otvorene ulazne stezaljke teče struja u kolektorskom krugu koja se označuje sa I_{ceo}, odnosno I_{cbo}, i zove se preostalom strujom kolektora. Na nižim temperaturama iznos te struje dosta je malen, ali povišenjem temperature naglo raste, o čemu će kasnije biti govora.

Ulazne karakteristike

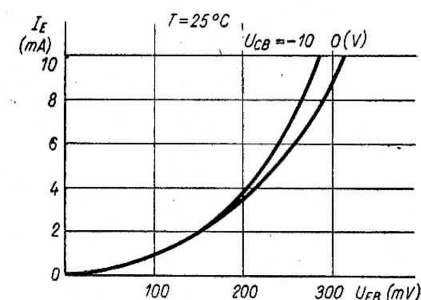
18. — Druge po važnosti, potrebne za poznavanje rada tranzistora, jesu ulazne karakteristike. One pokazuju ovisnost ulazne struje i ulaznog napona uz konstantan napon kolektora. Sl. 32 pokazuje sklop koji omogućuje snimanje ulaznih karakteristika tranzistora u emiterskom spoju. Za spoj sa zajedničkim emiterom vrijedi $I_b - U_{be}$ karakteristika uz U_{ce} = konst, a za spoj sa zajedničkom bazom $I_e - U_{eb}$ uz U_{cb} = konst, (sl. 33 i 34). Jasno je vidljivo da je utjecaj izlaznog napona na ulazne karakteristike malen, pa se podaci daju obično samo za jedan izlazni napon. Krivulja je nelinearna (slična karakteristici germanijeve diode), pa pri konstrukciji pojačala moramo voditi računa o toj nelinearnosti, budući da na nju znatno utječe impendancija izvora.



Slika 32.
Sklop za mjerenje ulaznih karakteristika tranzistora



Slika 33.
Ulazne karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom

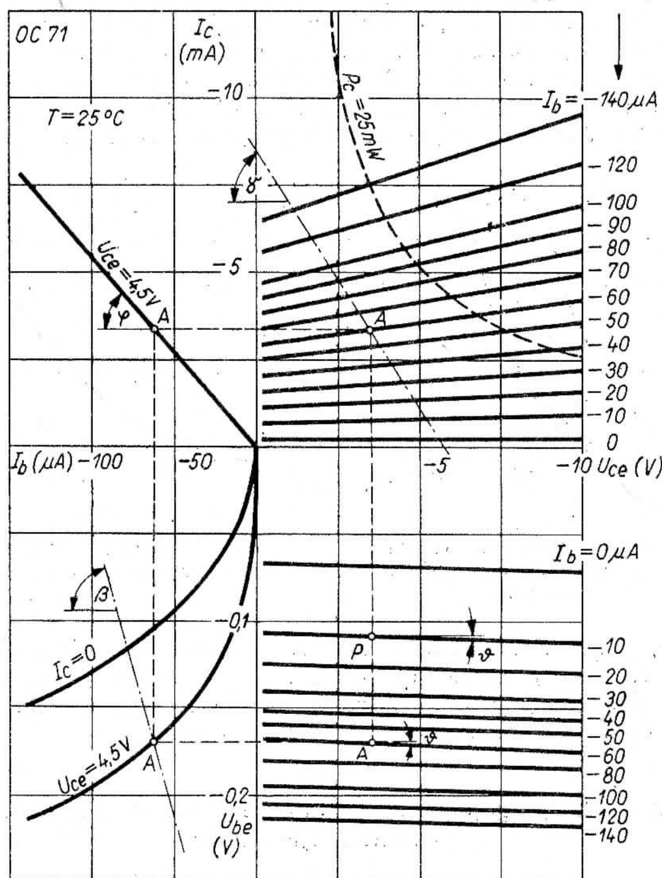


Slika 34.
Ulazne karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom

Faktor strujnog pojačanja, unutarnji otpor, ulazni otpor, povratno djelovanje

19. — U podacima o tranzistorima daju se karakteristike smještene u četiri kvadranta koordinatnog sistema (sl. 35 i 36). Karakteristike u prvom kvadrantu već su opisane izlazne karakteristike, i njima su dani odnosi u izlaznom krugu. Karakteristike prikazane u drugom kvadrantu daju međusobnu ovisnost izlazne struje I_c i ulazne struje I_b, odnosno I_e, uz napon kolektora kao parametar. U trećem se kvadrantu nalaze ulazne karakteristike (vidi odsjek 18), i njima su dani odnosi u ulaznom krugu. Polje karakteristika u četvrtom kvadrantu pokazuje međusobnu ovisnost ulaznih i izlaznih napona uz ulaznu struju kao parametar (I_b, odnosno I_e). Iz navedenih karakteristika mogu se dobiti veličine koje određuju odnos tranzistora u spoju.

20. — Važna veličina koja određuje djelovanje tranzistora jest *faktor strujnog pojačanja* α. Razlikujemo dva faktora strujnog pojačanja: kod izmjenične struje malog signala i izmjenične struje velikog signala. *Pod faktorom strujnog pojačanja malog signala podrazumijevamo odnos promjene izlazne struje, struje kolektora* ΔI_c, *prema pro-*



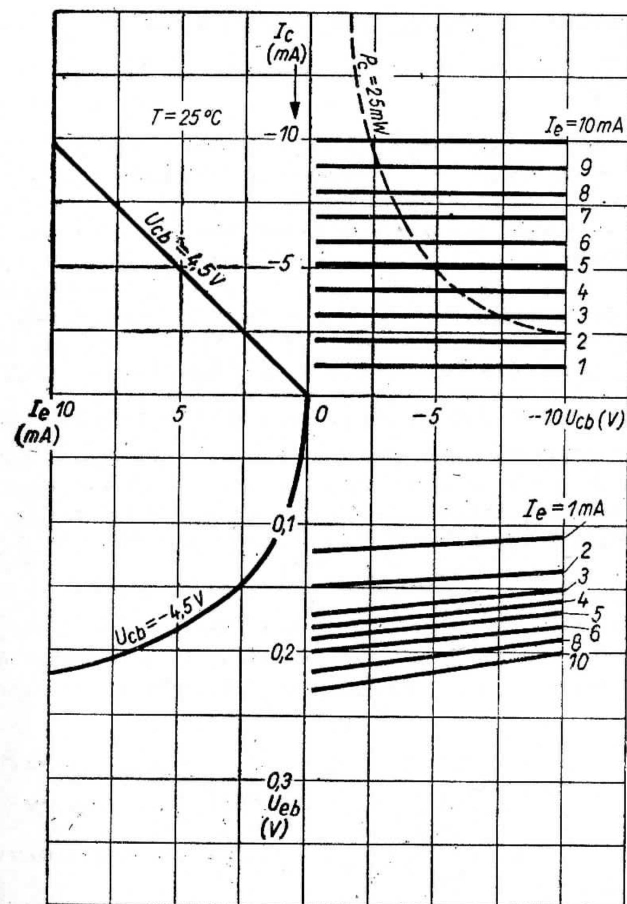
Slika 35.
Karakteristike tranzistora OC 71 u spoju sa zajedničkim emiterom

mjeni ulazne struje (ΔI_b, odnosno ΔI_c) *uz stalan napon kolektora* U_c, dakle odnos

$$\alpha_e = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{\text{promjena struje kolektora}}{\text{promjena struje baze}} \quad (\text{uz } U_c = \text{konst.}) \qquad (1)$$

$$\alpha_b = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} = \frac{\text{promjena struje kolektora}}{\text{promjena struje emitera}} \quad (\text{uz } U_c = \text{konst.}) \qquad (2)$$

Sa α_e označen je faktor strujnog pojačanja u spoju sa **zajedničkim** emiterom, a sa α_b u spoju sa zajedničkom bazom. Uz kratkospojeni izlaz,



Slika 36.
Karakteristike tranzistora OC 71 u spoju sa zajedničkom bazom

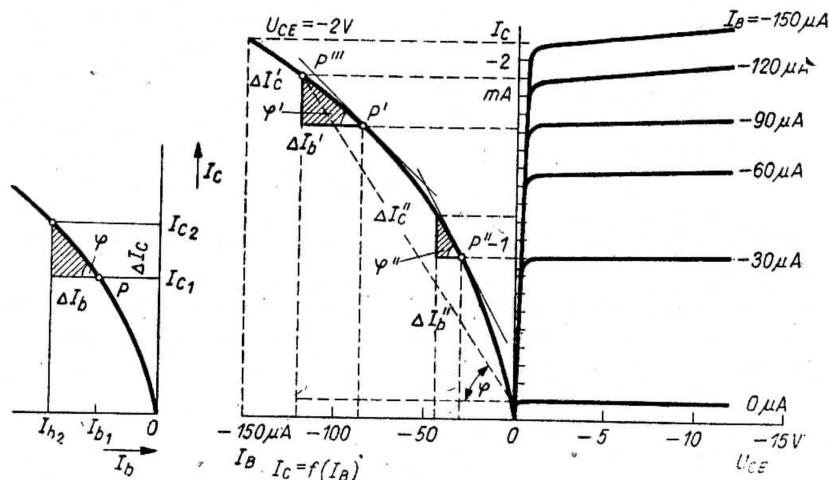
ovisnost između ulazne i izlazne struje dana je jednadžbama $i_c = -\alpha_b\, i_e$ i $i_c = \alpha_e\, i_b$. Međusobni odnos ovih dviju veličina dobiven pomoću jednadžbe $i_c + i_b + i_e = 0$ dan je izrazom.

$$\alpha_e = \alpha_b / (1 - \alpha_b) \qquad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Dok je vrijednost α_b kod slojnih tranzistora uvijek manja od jedan, vrijednost α_e kreće se u području od 10 do 100. Ove visoke vrijednosti za α_e proizlaze iz činjenice da je vrijednost struje I_b vrlo mala (razlika između I_e i I_c), i da male promjene te struje uzrokuju

značajne promjene struje kolektora. Na primjer, ako je $\alpha_b = 0{,}98$, bit će $\alpha_e = \frac{0{,}98}{1 - 0{,}98} = 49$. Dakle, što je vrijednost α_b bliža jedinici, bit će i α_e veći.

Za praktično određivanje faktora strujnog pojačanja α_e i α_b potrebno je ulaznu struju (I_b, odnosno I_e) promijeniti za neki iznos i izmjeriti promjenu struje kolektora, koja uslijed toga nastaje. Odnos ovih dviju promjena daje prema jednadžbama (1 i 2) traženi faktor strujnog pojačanja, uz uvjet da je napon kolektora za vrijeme mjerenja ostao isti. Mjerenja daju međutim tačne vrijednosti samo onda ako su izvedena na ravnom dijelu I_c - I_b karakteristike. (Određivanje faktora strujnog pojačanja u spoju sa zajedničkom bazom α_b iz karakteristika daje dosta netačne rezultate jer je α_b približno jednak jedinici, pa se stoga ne preporučuje.) Strogo uzevši, faktor strujnog pojačanja $\alpha_e = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$ određuje smjer tangente u odgovarajućoj tački krivulje P, dakle tangens kuta što ga tangenta zatvara sa I_b — osi $\alpha_e = \operatorname{tg} \varphi$ (sl. 37). Da odredimo dakle faktor strujnog pojačanja u radnoj tački moramo povući tangentu na krivulju kroz tu tačku, kako je učinjeno za tačke P' i P''' na sl. 38, gdje je $\alpha_e' = \frac{\Delta I_c'}{\Delta I_b'}$ i $\alpha_e'' = \frac{\Delta I_c''}{\Delta I_b''}$. Odavle izlazi da faktor strujnog pojačanja α_e (isto je tako i sa α_b) nije stalna veličina, jer se krivulja kod većih struja kolektora savija prema dolje, pa je i α_e u tom području manji. Prema tome određivanje tačne vrijednosti za α_e kod malih

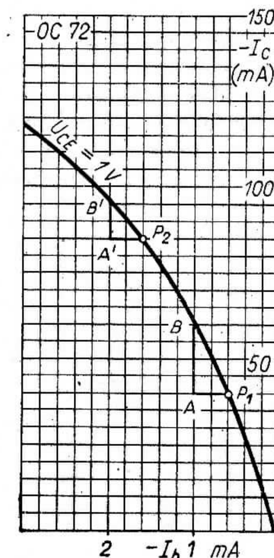


Slika 37.
Određivanje faktora strujnog pojačanja

Slika 38.
Ovisnost strujnog pojačanja o položaju radne tačke

signala ima smisla samo onda ako se istodobno naznači za koju tačku to vrijedi. Na sl. 39 naznačene su dvije tačke za tranzistor OC72, iz kojih se vidi da se α_e mijenja ovisno o izabranoj tački. Ako je radna tačka P_1 faktor strujnog pojačanja iznosi $\alpha_1 = AB/P_1A = 20/0{,}4 = 50$, dok je u radnoj tački P_2 manji $\alpha_2 = A'B'/P_2A' = 12{,}5/0{,}4 = 31{,}5$.

Faktor strujnog pojačanja kod velikih signala označen je sa $\overline{\alpha}$ i određen je odnosom između istosmjerne izlazne struje I_c i ulazne struje (I_b, odnosno I_e) uz konstantan izlazni napon, s time da se struji kolektora I_c oduzme preostala struja kolektora koja teče i uz otvoren ulaz. U polju izlaznih karakteristika ta je struja prikazana najdonjom krivuljom, a označena je sa I_{ceo} u spoju sa uzemljenim emiterom, a sa I_{cbo} u spoju sa zajedničkom bazom. Međusobno ovisnost ulazne i izlazne struje dana je jednadžbom $I_c = \overline{\alpha_e} I_b + I_{ceo}$ za zajednički emiter i sa $I_c = -\overline{\alpha_b} I_e + I_{cbo}$ za zajedničku bazu. Iz gornje jednadžbe za zajednički etmiter prema tome izlazi da je



Slika 39.
Veličina faktora strujnog pojačanja u tačkama P_1 i P_2 za tranzistor OC 72

$$\overline{\alpha_e} = \frac{I_c - I_{ceo}}{I_b} \quad . . \quad (4)$$

Da bismo odredili $\overline{\alpha_e}$ u radnoj tački P''', (sl. 38), moramo očitati I_b i I_c i od očitane vrijednosti I_c oduzeti veličinu struje I_{ceo}. Tako faktor strujnog pojačanja velikog signala $\overline{\alpha_3}$ za karakteristiku u radnoj tački P''' iznosi uz $U_{ce} = -2V$ i $I_b = -120\ \mu A$, gdje je $I_{ceo} = -0{,}1$ mA i $I_c = -1{,}9$ mA: $\overline{\alpha_3} = (-1{,}9 + 0{,}1) / (-0{,}12) = 15$.

Uspoređujući α_e i $\overline{\alpha_e}$ vidimo da je $\overline{\alpha_e}$ manji od α_e.

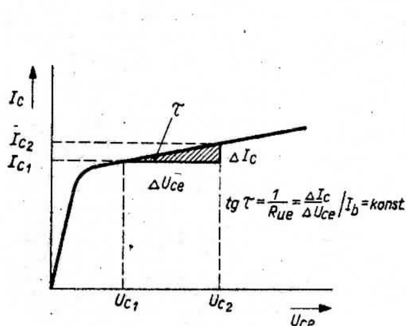
21. — Drugi osnovni pojam koji se dobiva iz tranzistorskih karakteristika jest *unutarnji otpor. Pod unutarnjim otporom razumijevamo odnos promjene kolektorskog napona* ΔU_c *prema promjeni kolektorske struje* ΔI_c *uz stalnu ulaznu struju* (I_b, *odnosno* I_e), dakle odnos:

$$R_{ie} = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta I_c} = \frac{\text{promjena kolektorskog napona}}{\text{promjena kolektorske struje}} \quad \text{(uz } I_b = \text{konst.), za emiterski spoj} \quad (5)$$

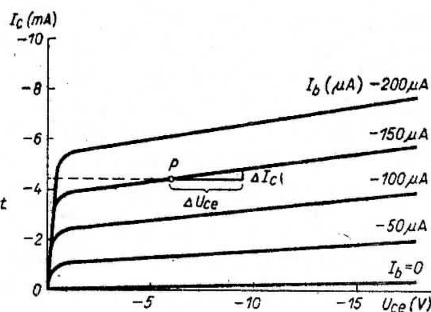
$$R_{ib} = \frac{\Delta U_{cb}}{\Delta I_c} = \frac{\text{promjena kolektorskog napona}}{\text{promjena kolektorske struje}} \quad \text{(uz } I_e = \text{konst.), za spoj baze} \quad (6)$$

Unutarnji otpor najlakše se dobiva iz izlaznih karakteristika $U_c - I_c$, kako se to vidi na sl. 40.

Pri određivanju R_i moramo izmjeriti za koliko se mijenja koletorska struja I_c uz stalnu ulaznu struju (I_b odnosno I_e), ako se napon kolektora U_{ce}, odnosno U_{cb}, promijeni za neku stanovitu vrijednost. Kvocijent ovih veličina daje traženi unutarnji otpor. Isto kao ni faktor strujnog pojačanja, ni unutarnji otpor nije stalna vrijednost, već je ovisna o položaju radne tačke. Što su $I_c - U_c$ karakteristike položitije, to je unutarnji otpor veći, jer u tom slučaju promjeni kolektorskog napona U_c odgovara mala promjena kolektorske struje I_c.



Slika 40.
Izlazna karakteristika; određivanje unutarnjeg otpora



Slika 41.
Unutarnji otpor pri malom i velikom signalu

Usporedi izlazne karakteristike u spoju sa zajedničkom bazom i zajedničkim emiterom!

Unutarnji otpor R_i ne smijemo ni u kom slučaju zamijeniti s otporom za istosmjernu struju R, jer to nije otpor koji dobijemo mjerenjem napona između kolektora i baze, odnosno kolektora i emitera i kolektorske struje. Usporedi s unutarnjim otporom elektronke (vidi odsjek 269, I dio).

Na primjer, unutarnji otpor na sl. 41, u radnoj tački P, za tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom iznosi

$$R_{ie} = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta I_c}\Bigg|_{I_b = 150\,\mu A} = \frac{(9{,}5 - 5{,}5)}{(4{,}8 - 4{,}4)\cdot 10^{-3}} = \frac{4\cdot 10^3}{0{,}4} = 10\ \text{k}\Omega.$$

Za otpor *velikog signala* imali bismo međutim $R = \dfrac{5{,}5\ \text{V}}{4{,}4\ \text{mA}} = 1{,}25\ \text{k}\Omega$.

Očito je, dakle, da su to dva sasvim različita otpora. Uspoređujući veličine unutarnjih otpora kod spoja sa zajedničkom bazom i zajedničkim emiterom (sl. 35 i 36), vidimo da je u prvom slučaju unutarnji otpor veći, što je i jasno jer su $I_c - U_c$ karakteristike položitije. Tangenta povučena kroz radnu tačku zatvara sa U_{cb}-osi kut τ, čiji tangens predstavlja u stvari unutarnju vodljivost tranzistora uz konstantnu ulaznu struju. Kako je iz karakteristika vidljivo, kod većih kolektorskih struja bit će taj kut veći, a isto tako i unutarnja vodljivost.

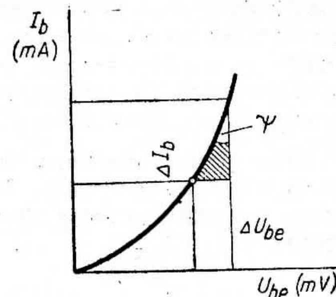
22. — Iz ulaznih karakteristika u trećem kvadrantu može se odrediti ulazni otpor tranzistora. I ovdje razlikujemo ulazni otpor malog i velikog signala. *Pod ulaznim otporom malog signala razumijevamo odnos promjene ulaznog napona* (ΔU_{be}, *odnosno* ΔU_{eb}), *prema ulaznoj struji* (ΔI_b, *odnosno* ΔI_e) *uz stalan napon na kolektoru* (U_{cb}, *odnosno* U_{ce}), dakle odnos

$$R_{ue} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} = \frac{\text{promjena ulaznog napona}}{\text{promjena struje baze}} \quad (\text{uz } U_{ce} = \text{konst.}) \tag{7}$$

$$R_{ub} = \frac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} = \frac{\text{promjena ulaznog napona}}{\text{promjena struje emitera}} \quad (\text{uz } U_{cb} = \text{konst.}) \tag{8}$$

R_{ue} je ulazni otpor u spoju sa zajedničkim emiterom, a R_{ub} u spoju sa zajedničkom bazom. Ulazni se otpor najlakše dobiva iz ulazne karakteristike, kako se to vidi na sl. 42. Tu je $R_{ub} = \dfrac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} = \text{tg}\,\psi$ u spoju baze, odnosno $R_{ue} = \dfrac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} = \text{tg}\,\psi$ u spoju emitera, gdje je ψ kut što ga čini tangenta povučena kroz radnu tačku prema I_e, odnosno I_b-osi.

Pri određivanju veličine R_u mjerimo koliko se mijenja ulazna struja uz stalan napon na kolektoru, ako se napon na ulazu promijeni za neku određenu vrijednost. Kvocijent tih dviju vrijednosti daje traženi ulazni otpor. Krivulja ulaznog otpora osjetljivo je zakrivljena pa ulazni otpor, kao ni ostale dvije vrijednosti, nije stalna veličina već je ovisan o položaju radne tačke.



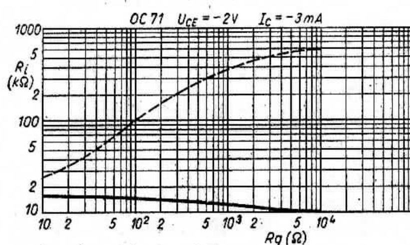
Slika 42.
Određivanje ulaznog otpora

23. — Četvrti osnovni pojam, »*povratno djelovanje*«, može se dobiti iz krivulje u četvrtom kvadrantu. *Povratno djelovanje definirano je kao odnos promjena napona kolektora* ΔU_{ce}, *odnosno* ΔU_{cb}, *prema promjeni ulaznog napona* ΔU_{be}, *odnosno* ΔU_{eb}, *uz konstantnu ulaznu struju* (I_b, odnosno I_e).

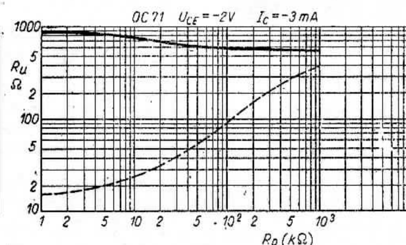
$$\text{tg}\,\vartheta_e = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta U_{be}} = \frac{\text{promjena izlaznog napona}}{\text{promjena ulaznog napona}} \quad (\text{uz } I_b = \text{konst.}) \tag{9}$$

$$\text{tg}\,\vartheta_b = \frac{\Delta U_{cb}}{\Delta U_{eb}} = \frac{\text{promjena izlaznog napona}}{\text{promjena ulaznog napona}} \quad (\text{uz } I_e = \text{konst.}) \tag{10}$$

Na sl. 35, u tački P, na krivulji u četvrtom kvadrantu, povratno djelovanje određeno je tangensom kuta ϑ, gdje je ϑ kut što ga zatvara tangenta povučen tom tačkom sa U_{ce}-osi. Veličinu $tg\vartheta$ dobijamo mjerenjem promjene ulaznog napona uz stalnu ulaznu struju, ako se napon kolektora promijeni za neku vrijednost. Uspoređujući karakteristike $U_{ce} - U_{be}$ za spoj s uzemljenim emiterom i $U_{cb} - U_{eb}$ za spoj s uzemljenom bazom uočavamo da su u spoju baze karakteristike strmije, što znači da je u tom slučaju i povratno djelovanje veće. Bolji uvid u



Slika 43.
Ovisnost izlaznog otpora R_i o otporu generatora R_g



Slika 44.
Ovisnost ulaznog otpora R_n o otporu potrošača R_p

prilike koje vladaju između izlaznog i ulaznog kruga pružaju dijagrami na sl. 43 i 44, mjereni za tranzistor OC 71. Dijagrami na sl. 43 pokazuju kako se zbog promjene otpora generatora R_g mijenja izlazni otpor tranzistora R_{ie}, odnosno R_{ib}, za određenu radnu tačku, a dijagramima na sl. 44 prikazana je ovisnost ulaznog otpora R_{ub}, odnosno R_{ue}, o promjeni opteretnog otpora R_p. Crtkane krivulje vrijede za emiterski spoj, a pune za spoj baze.

Slike ujedno potvrđuju činjenicu da je ulazni otpor emiterskog spoja znatno veći od ulaznog otpora baze, dok za izlazne otpore vrijedi obrnuto. Tranzistor u spoju baze ima veliki izlazni otpor u odnosu na emiterski.

24. — Budući da su u gotovo svim tvorničkim podacima za tranzistore dane krivulje u četiri kvadranta, na sl. 35 za tranzistor OC 71 odredit ćemo sve već prije navedene veličine u danoj radnoj tački P. *Radni pravac* ucrtan u prvom kvadrantu u polju izlaznih karakteristika određen je kutom γ

$$tg\gamma = \frac{1}{R_p}$$

Tangens kuta β u trećem kvadrantu predstavlja *otpor u ulaznom krugu*

$$tg\beta = R_g$$

Otpori R_p i R_g su otpori za istosmjernu struju; s njima i naponima $-U_o$ i $-U_g$ određena je radna tačka P, a prema tome i struja u

ulaznom i izlaznom krugu. Ako se iz tačke P povuku pravci paralelni s koordinatnim osima dobijemo radne tačke u ostalim kvadrantima.

Označeni kutovi predstavljaju ove veličine:

Veličina tangensa kuta u I kvadrantu

$$tg\gamma = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{ce}} = \frac{1}{R_{ie}} = g_{ie} \text{ uz } I_b = \text{konst.}$$

unutarnja je vodljivost tranzistora.

U II kvadrantu

$$tg\varphi = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \alpha_e \text{ uz } U_{ce} = \text{konst.}$$

predstavlja *faktor strujnog pojačanja.*

U III kvadrantu

$$tg\psi = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} = R_{ue} \text{ uz } U_{ce} = \text{konst.}$$

određeni *ulazni otpor.*

U IV kvadrantu kut ϑ predstavlja *povratno djelovanje*

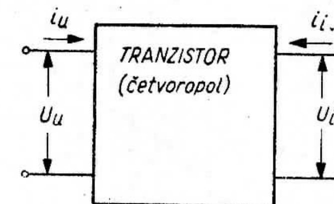
$$tg\vartheta = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{ce}} \text{ uz } I_b = \text{konst.}$$

Nadomjesne sheme i parametri tranzistora

h — parametri

25. — Pored karakteristika, u podacima za tranzistore daju se i druge veličine. Bez dubljeg upuštanja u način dobivanja ovih parametara dat ćemo njihove definicije, kako bi se mogli pravilno koristiti podaci koje daje proizvođač.

Tranzistor možemo promatrati kao aktivan četveropol. Pod četveropolom podrazumijevamo električnu mrežu sa dvije ulazne i dvije izlazne stezaljke (sl. 45). Aktivni je četveropol karakteriziran sa četiri koeficijenta. Kod promatranja tranzistora pri niskim frekvencijama i malim signalima obično se koriste hibridni (mješoviti) h-parametri, jer su vrlo pogodni za mjerenje. To su h_i, h_o, h_r i h_f.



Slika 45.
Prikaz tranzistora kao četveropola

Oni su definirani u odnosu na sl. 45.:

h_i (h_{11}) *ulazni je otpor* tranzistora uz kratkospojene izlazne stezaljke

$$h_i = \frac{u_u}{i_u} \quad \Big| \quad u_i = 0 \ (\Omega)$$

h_o (h_{22}) izlazna je vodljivost tranzistora pri otvorenim ulaznim stezaljkama

$$h_o = \frac{i_i}{u_i} \Big| \; i_u = 0 \; (1/\Omega)$$

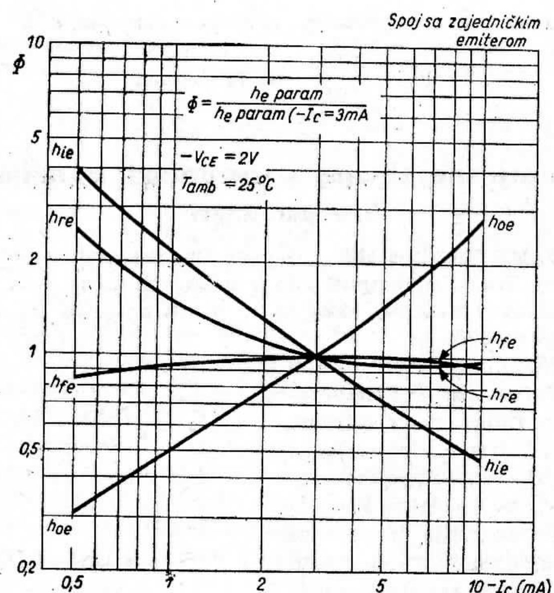
h_r (h_{12}) označava *povratno djelovanje* izlaznog kruga na ulazni, a dan je odnosom napona, uz otvorene ulazne stezaljke

$$h_r = \frac{u_i}{u_u} \Big| \; i_u = 0$$

h_f (h_{21}) *faktor je strujnog pojačanja* pri kratkospojenom izlazu

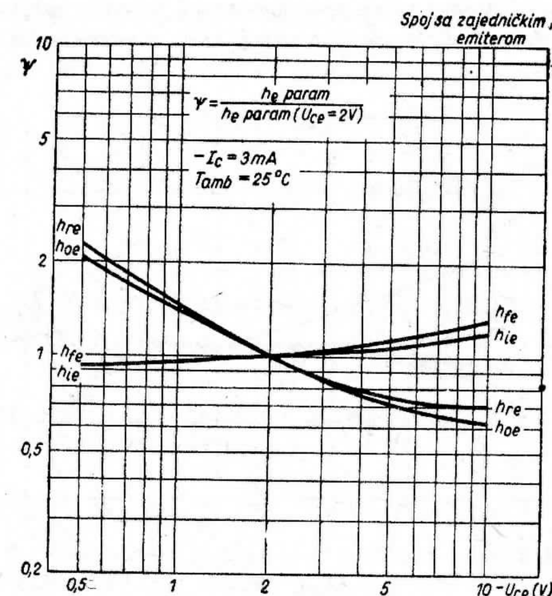
$$h_f = \frac{i_i}{i_u} \Big| \; u_i = 0$$

Vrijednosti parametara ovise o radnoj tački tranzistora i o načinu na koji je spojen. Isto se tako te veličine mijenjaju i s promjenama temperature.



Slika 46.
Relativne promjene h-parametara, ovisne o istosmjernom naponu

Parametri su prema vrsti spoja označeni indeksima e, b, c, što znači da je tranzistor u spoju s uzemljenim emiterom, uzemljenom bazom, odnosno uzemljenim kolektorom. Parametri označeni sa h_{ie}, h_{oe}, h_{re} i h_{fe} pokazuju da se radi o emiterskom spoju. Na sl. 46 i 47 dana je



Slika 47.
Relativne promjene h-parametara, ovisne o istosmjernoj struji kolektora

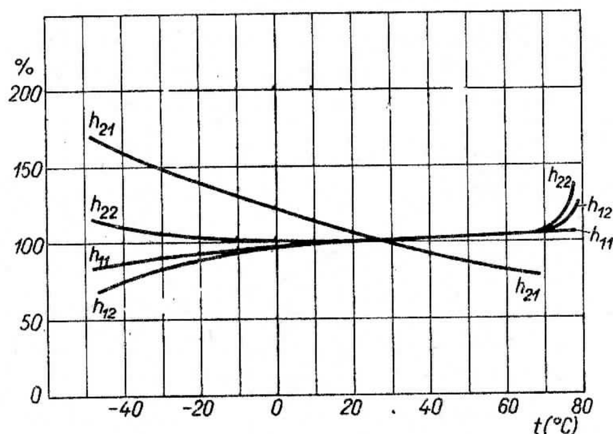
ovisnost h-parametara o veličini istosmjerne struje kolektora i napona kolektora, uz referentnu struju 3 mA i referentni napon 2V, dok se u tablici 1 vidi razlika između njihovih vrijednosti u spoju baze

Tablica 1

Tranzistor OC 75	$U_{ce} = -2V$; $I_c = -3mA$	$U_{ce} = -2V$; $I_c = -3mA$
	zajednička baza	zajednički emiter
Ulazni otpor uz kratkospojeni izlaz	$h_{ib} = 14\Omega$	$h_{ie} = 1{,}3k\Omega$
Izlazna vodljivost uz otvoren ulaz	$h_{ob} = 1{,}4 \, \mu A/V$	$h_{oe} = 125 \mu A/V$
Strujno pojačanje kod kratkospojenog izlaza	$-h_{fb} = 0{,}989$	$h_{fe} = 90$

i emitera. U spoju emitera za tranzistor OC 75 h_i, h_o i h_f znatno su veći nego u spoju baze. Promjena h-parametara s temperaturom prikazana je dijagramom na sl. 48. Iz slike se vidi da se koeficijent strujnog pojačanja h_f najmanje mijenja s promjenom temperature. Ova relativna promjena nešto je veća u spoju sa zajedničkim emiterom nego u spoju sa zajedničkom bazom. Na ordinatu su nanijeti odnosi

parametara pri određenoj temperaturi prema vrijednosti koju ovaj parametar ima na 25°C, a koja je uzeta kao referentna. Taj je odnos dan u postocima.

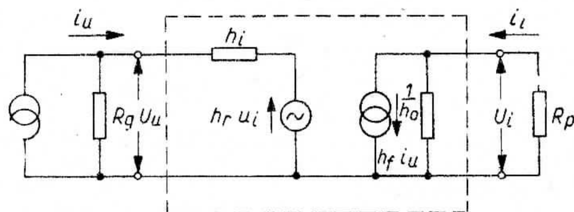


Slika 48.
Promjene h-parametara s temperaturom

Hibridni parametri mogu biti dobiveni i iz karakteristika prikazanih na sl. 35, gdje su

$$\operatorname{tg}\varphi = h_{fe}, \qquad \operatorname{tg}\psi = h_{ie}, \qquad \operatorname{tg}\tau = h_{oe}, \qquad \operatorname{tg}\vartheta = h_{re}.$$

Na sl. 49. dana je ekvivalentna shema sa *h*-parametrima.



Slika 49.
Ekvivalentna shema tranzistora s h-parametrima. Vrijedi za sva tri spoja, samo treba uvrstiti odgovarajuće parametre

Y-parametri

26. — Za promatranje tranzistora pri visokim frekvencijama najviše se koriste Y-parametri, koji se obično daju u spoju sa zajedničkim emiterom. U obzir su uzete i reaktivne komponente (interelektrodni

kapaciteti), tako da su Y-parametri kompleksne veličine, što znači da se sastoje od realnog i imaginarnog dijela. Definirani su prema sl. 45

$$Y_{ie} = \frac{i_u}{u_u} \Big| \; u_i = 0 \qquad (1/\Omega),$$

gdje je Y_{ie} (Y_{11}) *ulazna vodljivost* pri kratkospojenom izlazu;

$$Y_{oe} = \frac{i_i}{u_i} \Big| \; u_u = 0 \qquad (1/\Omega),$$

gdje je Y_{oe} (Y_{22}) *izlazna vodljivost* pri kratkospojenom ulazu;

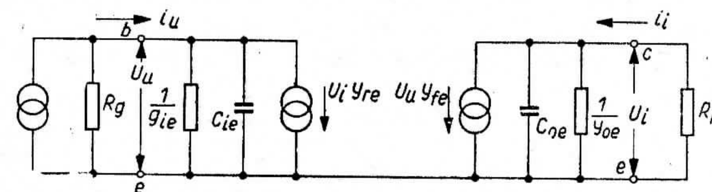
$$Y_{re} = \frac{i_u}{u_i} \Big| \; u_u = 0 \qquad (1/\Omega),$$

gdje je Y_{re}(Y_{12}) *prijenosna vodljivost** uz kratkospojene ulazne stezaljke, *promatrana prema ulaznoj strani.*

$$Y_{fe} = \frac{i_i}{u_u} \Big| \; u_i = 0 \qquad (1/\Omega),$$

gdje je Y_{fe} (Y_{21}) *prijenosna vodljivost* uz kratkospojene izlazne stezaljke, *promatrana prema izlaznoj strani.*

Konstante Y_{ie} i Y_{oe} jasne su već prema definiciji. Zadržat ćemo se na Y_{re} i Y_{fe}. Y_{fe} je *strmina* tranzistora u smjeru pojačanja, analogno strmini elektronke. U nadomjesnoj shemi apsolutni iznos te strmine određuje, zajedno s ulaznim naponom, iznos strujnog izvora aktivnog četveropola. Y_{re} je *mjera povratnog djelovanja* izlaza na ulaz — povratnog djelovanja kolektora na bazu — slično povratnom djelovanju anoda-rešetka kod triode.



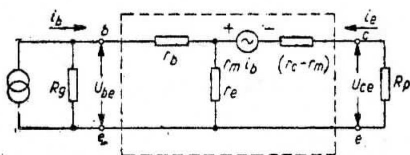
Slika 50.
Ekvivalentna shema s Y-parametrima za tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom

Ekvivalentna shema sa Y-parametrima dana je na sl. 50 za tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom.

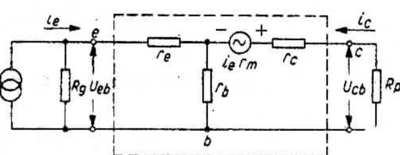
27. — Osim nadomjesnih shema koje su bazirane na h-matricama i y-matricama, koriste se i nadomjesne sheme izvedene na osnovi fizikalnih tumačenja. Od mnogih shema (*R, Z, T*) koje su zadržane

* **Transfer admitanca**

uobičajena je upotreba *T*-ekvivalentne sheme pri niskim frekvencijama, u kojoj r_e, r_c, r_b i r_m predstavljaju dinamičke otpore emitera, kolektora, baze, te prijenosni otpor. Na sl. 51 i 52 prikazane su *T*-nadomjesne



Slika 51.
T-nadomjesna shema u spoju sa zajedničkim emiterom



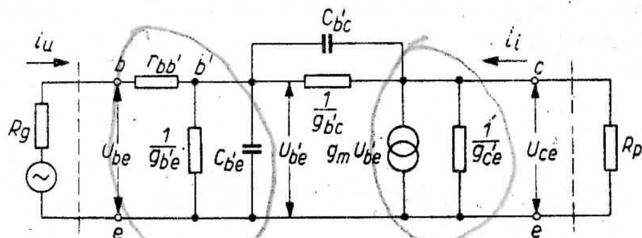
Slika 52.
T-nadomjesna shema u spoju sa zajedničkom bazom

sheme u spoju sa zajedničkim emiterom i bazom. Vrijednosti otpora r_e, r_c, r_b i r_m jednake su za oba spoja, a njihove veličine približno iznose:

$$r_e = 25\ \Omega, \qquad r_b = 550\ \Omega, \qquad r_c = 1{,}5\ \text{M}\Omega, \qquad r_m = 1{,}4\ \text{M}\Omega.$$

Nadomjesna shema tranzistora pri visokim frekvencijama

28. — Pri visokim frekvencijama nadomjesna shema mnogo je složenija, kao što se vidi na sl. 53, gdje je izvedena za tranzistor u emiterskom spoju.



Slika 53.
Nadomjesna shema tranzistora pri visokim frekvencijama za spoj sa zajedničkim emiterom

Dok smo u niskofrekventnim primjenama mogli elemente u nadomjesnim shemama tranzistora promatrati kao realne veličine, počevši od izvjesne frekvencije, ovisno o vrsti tranzistora, ove vrijednosti postaju kompleksne, jer više nisu zanemarivi međuelektrodni kapaciteti, vrijeme prolaza nosilaca kroz granični sloj, veličina otpora baze $r_{bb'}$, itd. Shema je izvedena u π-spoju. Omski otpor r_{bb} predstavlja otpor između priključka i sloja baze, $C_{b'e}$ ulazni kapacitet između emitera i baze (difuzni kapacitet), $\frac{1}{g_{b'e}}$ emiterski otpor, $C_{b'c}$ kapacitet kolektor-

skog spoja, $\frac{1}{g_{b'c}}$ otpor kolektora, $\frac{1}{g_{c'e}}$ otpor kolektor-emiter, dok je $g_m U_{b'e}$ strujni generator a uz to moramo uzeti u obzir i štetne kapacitete dovoda C_{bc} i C_{ce}.

Elemente u nadomjesnoj shemi možemo podijeliti na ulazne, izlazne i elemente povratnog djelovanja. *Ulazne elemente* sačinjavaju otpor priključka baze $r_{bb'}$, ulazni otpor (otpor malog signala) $\frac{1}{g_{b'e}}$, te difuzni kapacitet $C_{b'e}$. Ulazni otpor obrnuto je proporcionalan struji emitera, dok je veličina difuznog kapaciteta direktno proporcionalna toj struji, pa je produkt $\frac{1}{g_{b'e}} \cdot C_{b'e}$ skoro neovisan o struji emitera. Paralelna kombinacija ulaznog kapaciteta i otpora $\frac{1}{g_{b'e}}$ predstavlja u stvari potrebno vrijeme prolaza šupljina kroz sloj baze.

Izlazni su elementi otpor između emitera i kolektora $\frac{1}{g_{c'e}}$, koji izražava djelovanje napona kolektora na struju kolektora (promjenom U_{ce} mijenja se debljina zapornog sloja, a time i struja kolektora), i strujni generator $U_{b'e} \cdot g_m = i_b \cdot \alpha_e$.

g_m *je strmina tranzistora jednaka* $\alpha_e / r_{b'e}$. Ona odgovara strmini elektronke.

Granična frekvencija u tvorničkim katalozima obično se daje za spoj sa zajedničkom bazom, a označuje se prema jednoj od niže navedenih definicija usvojenih u tranzistorskoj tehnici sa f_α ili f_1.

Granična frekvencija označena sa f_α *ona je frekvencija, kod koje strujno pojačanje padne za* $1/\sqrt{2}$*-ti dio, odnosno za 3 dB* od vrijednosti strujnog pojačanja za istosmjernu struju, dok je* f_1 *ona frekvencija kod koje faktor strujnog pojačanja padne na jedinicu.* Granična frekvencija za tranzistor u spoju baze znatno je viša nego u spoju sa zajedničkim emiterom. Za njihov međusobni odnos vrijedi približno

$$\boxed{\frac{f_{\alpha b}}{f_{\alpha e}} = \frac{\alpha_b}{\alpha_e} \cong \alpha_c} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (11)$$

Indeksi *b* i *e* iza α označavaju o kojem se spoju radi.

Na graničnu frekvenciju djeluju ovi elementi: otpor $r_{bb'}$ spojen u seriju s paralelnom kombinacijom $C_{b'e}$ i $\frac{1}{g_{b'e}}$, kao što je jasno iz slike, predstavlja frekventno ovisan djelitelj napona; aktivni napon $U_{b'e}$ pada

* Svojstva pojačala mogu biti numerički izražena u decibelima. Logaritam iz odnosa snaga izražava se u belima u čast A. G. Bella. Iz praktičnih je razloga pogodnije upotrebljavati jedinicu 10 puta manju od bela, a to je decibel (dB).

Ako su N_1 i N_2 snage, a *n* broj decibela koji naznačuje njihov odnos, možemo pisati

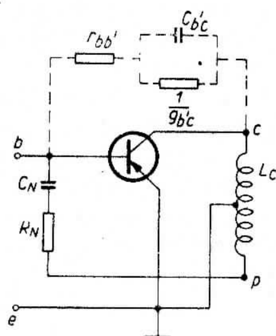
$$n = 10 \log \frac{N_1}{N_2}\ (\text{dB}).$$

Kako je snaga razmjerna kvadratu struje, odnosno kvadratu napona možemo dobiti broj decibela (uz $R_1 = R_2$) i u tom slučaju prema formuli

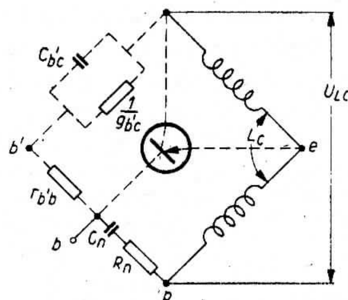
$$n = 20 \log \frac{U_1}{U_2} = 20 \log \frac{I_1}{I_2}\ (\text{dB})$$

s porastom frekvencije prema ulaznom naponu a, naravno, time i pojačanje. Ako je riječ o spoju sa zajedničkom bazom, otpor $r_{bb'}$ predstavlja otpor negativne reakcije, analogan nepremoštenom katodnom otporu kod elektronke.

29. — Paralelna kombinacija otpora $\frac{1}{g_{b'c}}$ i kondenzatora $C_{b'c}$ prikazuje povratno djelovanje izlaznog kruga na ulazni krug. Najvažniji je član povratnog djelovanja kapacitet $C_{b'c}$, dok je otpor kolektorskog spoja općenito vrlo velik, pa se obično ne uzima u račun. Iz nadomjesne sheme na sl. 53 vidimo da odnos izlaznog i ulaznog napona u_{ce}/u_{be} nije ovisan isključivo o elementima povratnog djelovanja, već i o veličinama $\frac{1}{g_{b'c}}$ — $C_{b'c}$ — $r_{bb'}$, otporu generatora R_g i otporu potrošača R_p. Kod nižih frekvencija utjecaji $C_{b'c}$ i $C_{b'e}$ mogu biti zanemareni, ali povišenjem frekvencije njihov utjecaj raste, krivulja pojačanja se izobličuje, sve dok ne dođe do oscilacija. Oscilacije pri visokim frekvencijama mogu biti spriječene pravilnim izborom ulazne i izlazne impedancije. Drugi pak način stabiliziranja pojačala postiže se primjenom *neutralizacije*. Praktičko rješenje analogno je kompenzaciji kapaciteta anoda — rešetka kod triode: vraćanje izlaznog napona na ulaz iste veličine, ali fazno obrnutog za 180°.



Slika 54.
Stupanj pojačala s provedenom neutralizacijom



Slika 55.
Stupanj pojačala s provedenom neutralizacijom prikazan u mosnom spoju

Na sl. 54 shematski je prikazan neutralizirani stupanj pojačala u kojem su $C_{b'c}$ — $1/g_{b'c}$ i $r_{bb'}$ elementi povratnog djelovanja, a C_n i R_n kapacitet i otpor neutralizacije. Zbog jasnoće takav je stupanj prikazan i u mosnom spoju, (sl. 55). Kompenzacija povratnog djelovanja postignuta je vraćanjem kolektorskog napona fazno okrenutog za 180° preko elemenata neutralizacije C_n i R_n na bazu tranzistora. Uz ispravno dimenzionirane vrijednosti C_n i R_n most b'e nalazi se u ravnoteži i tako izlazni napon U_{Lc} ne utječe na ulaznu struju između baze i emitera.

Valja naglasiti da je zbog odstupanja u karakteristikama tranzistora potpuna neutralizacija moguća samo onda ako su elementi stabilizacije promjenljivi.

Da titrajni krug u kolektoru ne bi bio jako prigušen s elementima neutralizacije, uzima se napon neutralizacije s odvojka na zavojnici. Uvjet neutralizacije ispunjen je uz

$$Y_n' = \frac{n_1}{n_2} Y_{b'e} \quad \text{. . . . . (12)}$$

odakle se mogu izračunati i elementi neutralizacije. Serijski spoj neutralizacije ima praktičku prednost zbog galvanskog odvajanja izlaznog kruga od ulaznog. Neutralizacija može biti uspješno provedena samo u užem frekventnom području, budući da je impedancija povratnog djelovanja frekventno ovisna. Zbog tih je razloga mnogo teže stabilizirati stupanj s većim prijenosnim područjem nego međufrekventno pojačalo.

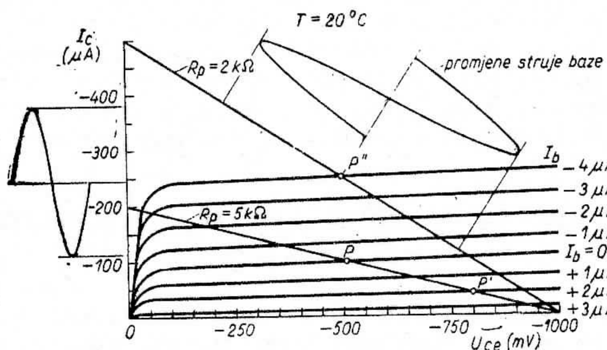
Određivanje radne tačke i utjecaj temperature na rad tranzistora

30. — Određivanje radne tačke tranzistora postupak je, iako u biti isti kao kod elektronki (vidi odsjek 60), koji zahtijeva pažljivije prilaženje tom problemu. Parametri tranzistora mijenjaju se s promjenama temperature, a uz to postoji i velika razlika u karakteristikama tranzistora istoga tipa, koje nastaju zbog neujednačene proizvodnje. Ova odstupanja prilično su velika i uzrokuju pomicanje radne tačke. Na primjer, faktor strujnog pojačanja α_e mijenja se za istu vrst tranzistora u granicama od 30 do 80. Posljedice pomicanja radne tačke su nelinearna izobličenja i preveliko zagrijavanje tranzistora, što može dovesti do njegova uništenja. Pri određivanju radne tačke potrebno je odrediti ove podatke: napon izvora, radni otpor za istosmjernu i izmjeničnu struju, način pobuđivanja (strujno, naponsko), gubitke u kolektoru, dopuštena izobličenja i način stabilizacije. Radna tačka odabire se obično u polju izlaznih karakteristika.

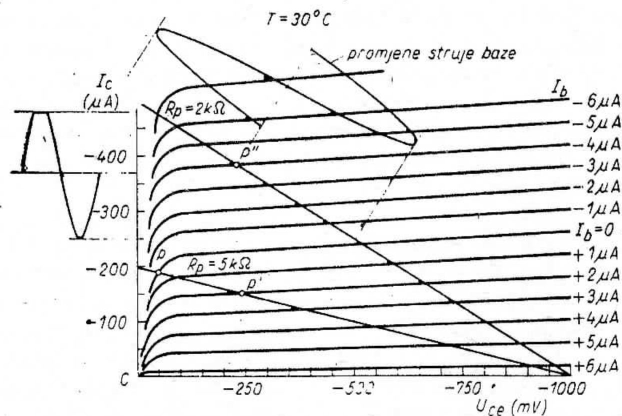
31. — O utjecaju temperature na rad tranzistora već je bilo govora. Poznato je da su eletkrička svojstva tranzistora ovisna o temperaturi kristala koja je određena električkim gubicima u tranzistoru, temperaturom ambijenta i toplinskim odvodom. Na primjer, uslijed disipacije povisuje se temperatura kolektorskog spoja, koja uzrokuje porast kolektorske struje, a prema tome i disipaciju. Time se opet povećava razvijanje topline, raste temperatura kristala, koja nanovo izaziva porast struje itd., što konačno dovodi do uništenja tranzistora ili pomicanja radne tačke u područje koljena karakteristike, gdje tranzistor praktički više ne pojačava, tj. gdje se promjenom struje baze struja kolektora skoro ne mijenja. Tako nastala termička nestabilnost nazvana

je *temperaturnom povratnom reakcijom.* Njoj su naročito podložni tranzistori s većom disipacijom — izlazni tranzistori — koji rade na granici dopuštene snage.

Bolji uvid o utjecaju temperature na rad tranzistora dobit ćemo iz primjera pokazanih na sl. 56, 57 i 58. Najprije obratimo pažnju na sl. 56 i 57, koje pokazuju izlazne karakteristike istog tranzistora OC 70, snimljene na dvjema različitim temperaturama okoline. Krivulje na sl. 56 odgovaraju temperaturi ambijenta od 20° C, a na sl. 57 mjerene su na temperaturi od 30° C. Karakteristike se odnose na emiterski spoj i vrijede za vrlo male struje baze i kolektora, pa i uz pozitivnu struju baze,



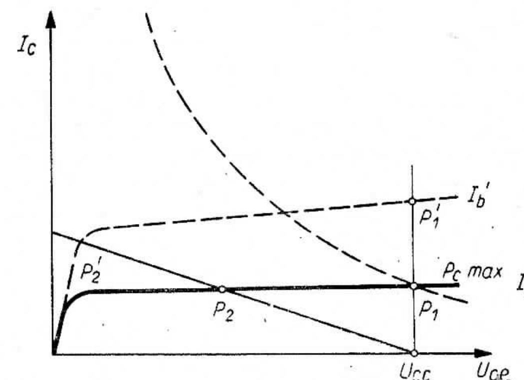
Slika 56.
Izlazne karakteristike tranzistora OC 71 snimljene na temperaturi 20° C za veoma male struje baze i struje kolektora. Povučeni su radni pravci i na njima odabrane radne tačke



Slika 57.
Izlazne karakteristike tranzistora OC 70 snimljene uz iste uvjete kao i na sl. 56 samo na temperaturi 30° C. Uslijed povišenja temperature dolazi do pomaka karakteristike i radnih tačaka u područje malog pojačanja i velikog izobličenja

jer su i u tom području karakteristike linearne (pojačala malih signala). Odabrana radna tačka *P* na sl. 56 određena je sa $U_{ce} = 0{,}5$ V i $I_b = 0$ i kroz nju je povučen pravac opteretnog otpora $R_p = 5$ kΩ. Poslije zagrijavanja na 30° C krivulje su pomaknute prema gore, ali je radni pravac ostao na istom mjestu. Radna tačka *P* sada je pala u zakrivljeni dio karakteristike u područje malog pojačanja i velikog izobličenja, (sl. 57). Utjecaj promjena temperature može se ublažiti ili smanjenjem opteretnog otpora R_p ili smanjenjem struje baze.

Promotrimo to isto za radnu tačku *P'* na opteretnom otporu $R_p = 2$ kΩ za jednu i drugu temperaturu, i tačku *P"* na opteretnom otporu 5 kΩ.



Slika 58.
Izlazne karakteristike sa prikazanim slučajem kada tranzistor radi sa graničnim vrijednostima

Sl. 58 pokazuje do čega može doći uslijed termičke nestabilnosti ako tranzistor radi na granici disipacije, ili ako je temperatura okoline povišena. Povučena su dva radna pravca i na njima odabrane radne tačke P_1 i P_2. Uslijed zagrijavanja karakteristika se pomiče paralelno prema gore (crtkana krivulja) i radna tačka može pasti ili u koljeno karakteristike P'_2 ili iznad parabole snage P'_1.

Ovisnost tranzistorskih spojeva o temperaturi

32. — Od veličina koje utječu na struju kolektora značajne su preostala struja kolektora i faktor strujnog pojačanja. Temperatura, međutim, naročito jako djeluje na preostalu struju kolektora, koja raste s temperaturom približno po eksponencijalnom zakonu. Razmotrit ćemo ovisnost pojedinih spojeva tranzistora o promjeni temperature, budući da se oni u pogledu stabilnosti radne tačke ponašaju različito.

Pogledajmo najprije spoj sa zajedničkom bazom. Faktor strujnog pojačanja α_b određen je izrazom

$$\alpha_b = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} \text{ uz } I_b = \text{konst.}$$

i kreće se između 0,95 i 0,99. Na sobnoj temperaturi (20° C) preostala struja kolektora I_{cbo} iznosi samo nekoliko mikroampera i zanemariva je

u odnosu na mnogo veću kolektorsku struju. Ona je, međutim, jako ovisna o temperaturi, i već uz povišenje temperature za 10^0 C vrijednost te struje poraste približno dvostruko. Ako je na primjer vrijednost $I_{cbo} = 5\ \mu A$ na temperaturi od 20^0 C, na temperaturi od 50^0 C ona će porasti na $50\ \mu A$ i više, dok će kod 100^0 C iznositi oko $500\ \mu A$. Prema tome termičko povećanje sporednih nosilaca u dijelu baze »vidi« i kolektor, pa se struja kolektora sastoji od dviju komponenata

$$I_c = \alpha_b I_e + I_{cbo} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Prva komponenta $\alpha_b \cdot I_e$ korisna je, jer je u njoj sadržano pojačanje tranzistora, dok I_{cbo}, potpuno neovisna o ulaznoj struji, ne pridonosi pojačanju. Dakle, preostala struja kolektora I_{cbo} predstavlja samo neznatan dio ukupne struje kolektora (koja u radnoj tački iznosi za ovaj spoj nekoliko mA), pa i njena temperaturna zavisnost ne dolazi tako jako do izražaja. Kako vidimo, spoj sa zajedničkom bazom u izvjesnim je granicama prilično stabilan u temperaturnom pogledu, pa ne zahtijeva neku posebnu stabilizaciju. Ipak je potrebno naglasiti da većim povišenjem temperature i u tom spoju može doći do znatnog pomaka radne tačke i u krajnjem slučaju do uništenja tranzistora.

33. — U spoju sa zajedničkim emiterom prilike su sasvim drugačije. Utjecaj preostale struje I_{ceo} na ukupnu struju mnogo je veći nego u spoju sa zajedničkom bazom. To će djelovanje biti jasno iz slijedećih razmatranja. I_{cbo} u bilo kojem spoju teče kroz zaporni sloj kolektor—baza. Budući da je krug baze otvoren, jednaka struja treba da teče i u obrnutom smjeru — od emitera prema bazi. Ako se I_{cbo} mijenja na taj se način znači i struja baze mijenja s preostalom strujom I_{cbo}. Budući da njena promjena djeluje kao ulazna struja, ona će u kolektorskom krugu izazvati promjene, povećane za faktor strujnog pojačanja $\alpha_e = \dfrac{\alpha_b}{1 - \alpha_b}$. No preostala struja u emiterskom spoju ne teče samo u krugu baze, već i u kolektoru. Stoga se ukupna preostala struja I_{ceo} sastoji od dva člana: veličine I_{cbo} koja teče u bazi, i struje $\alpha_e \cdot I_{cbo}$, i iznosi

$$I_{ceo} = I_{cbo} + \alpha_e I_{cbo} = (1 + \alpha_e) I_{cbo} \quad \ldots\ldots \quad (14)$$

Ovdje odmah pada u oči da i veličina α_e znatno utječe na preostalu struju, a prema tome i na pomicanje radne tačke tranzistora. Struja kolektora u ovom spoju određena je izrazom

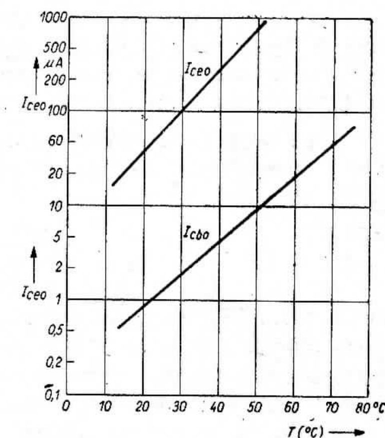
$$I_c = \alpha_e I_b + I_{ceo} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Gornja jednadžba pokazuje da struja kolektora sadrži, osim korisne komponente, i komponentu I_{ceo}. Kako je I_{cbo} povećana za α_e u kolektorskom krugu, taj je spoj mnogo osjetljiviji na promjenu temperature od

spoja sa zajedničkom bazom. Ako je, na primjer, $\alpha_e = 50$ i $I_{cbo} = 5\ \mu A$, struja I_{ceo} iznosi na sobnoj temperaturi oko $200\ \mu A$, a već kod 50^0 C poraste na 2,5 mA i više; znači porast će 50 puta.

Faktor α_e zavisi i od položaja radne tačke i od promjena temperature, ali te su promjene male u odnosu na one koje nastaju zbog neujednačene proizvodnje, pa ih možemo zanemariti. Ako se α_e kod istog tipa tranzistora kreće od 50 do 80, vidimo da će se preostala struja kolektora mijenjati između 2,5 mA i 3,2 mA. Zbog toga je u spoju sa zajedničkim emiterom potrebno stabilizirati radnu tačku.

Iz dijagrama na sl. 59 vidi se kako struje I_{cbo} i I_{ceo} ovise o temperaturi.



Slika 59.

Ovisnost preostale struje kolektora I_{ceo} i I_{cbo} germanijeva tranzistora o temperaturi

34. — Utjecaj temperature najviše osjeća kolektorski PN-spoj. Kolektorska snaga dana izrazom $N_c = I_c \cdot U_c$ predstavlja gotovo svu snagu koja se u tranzistoru razvija u toplinu, pa je kristal, dakle, stalan izvor topline, i on se zagrijava. Temperatura kristala određena je toplinom koja se razvija u kristalu i toplinom koja se odvodi, N_o. Dok veličina prve ovisi isključivo o električnoj snazi, druga je ovisna o stupnju hlađenja i temperaturi okoline. Veličina odvoda topline N_o ovisi i o toplinskom otporu materijala kroz koji se toplina prenosi na okolinu. Toplinski otpor, dimenzije (^{0}C/W), obično označen sa K, ovisi o konstrukciji tranzistora.

Da bismo povećali izlaznu snagu potrebno je primijeniti bolje hlađenje, dakle smanjiti toplinski otpor bilo upotrebom krilca za hlađenje, bilo spajanjem kolektora na balon ili nečim drugim. Uvjet za stabilan rad tranzistora jest da snaga N_c bude manja ili najviše jednaka snazi N_o, koju tranzistor predaje okolini. Ako sa T_s (^{0}C) označimo temperaturu spoja, sa T_{ok} (^{0}C) temperaturu okoline, a sa K (^{0}C/W) toplinski otpor, za snagu N_o vrijedi jednadžba

$$N_o = \frac{T_s - T_{ok}}{K} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

Budući da je N_o proporcionalan N_c, a za uvjet termičke ravnoteže vrijedi $N_o = N_c$, može se pisati

$$N_c = \frac{T_s - T_{ok}}{K} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Kad je termička ravnoteža uspostavljena, temperatura kristala toliko je viša od temperature okoline da je snaga koja se razvija u tranzistoru u sekundi jednaka upravo onoj snazi, koju tranzistor svake sekunde predaje okolini.

Pri proračunu stabilizacije predviđamo najnižu i najvišu temperaturu, tj. temperaturni raspon u kojem se traži stabilan rad. S tim temperaturama mogu se izračunati gubici, tj. maksimalan dopušteni kolektorski učin, a isto tako i temperatura kristala.

Tako uz $K = 0{,}6^0\,\mathrm{C/mW}$, maksimalnu dopuštenu temperaturu spoja $80^0\,\mathrm{C}$ i temperaturu okoline $25^0\,\mathrm{C}$, maksimalno dopuštena kolektorska snaga iznosi

$$N_{cmax} = \frac{80 - 25}{0{,}6} = 91{,}6\ \mathrm{mW}$$

Ako je tranzistor montiran na šasiju, onda se toplinski otpor sastoji od više komponenata, pa je K jednak sumi svih otpora, $K = K_1 + K_2 + K_3$. Iz gornjeg je jasno da izlazna snaga koju možemo dobiti iz tranzistorskog pojačala ovisi o temperaturi okoline i hlađenju; što je temperatura okoline manja, to je korisna izlazna snaga veća. Kod tranzistora za veće snage, gdje je itekako važno voditi računa o temperaturi, daje se jednadžba (17) i u obliku dijagrama.

Stabilizacija radne tačke

Faktor stabilizacije

35. — Pri gradnji tranzistorskih uređaja treba da se postigne što manja ovisnost tranzistorskih veličina, a naročito pojačanja, o temperaturi i odstupanjima koja nastaju zbog neujednačene proizvodnje. Potrebno je znači provesti stabilizaciju radne tačke. Stabilizacija se odnosi na smanjenje utjecaja temperaturnih promjena okoline i onih nastalih u samom tranzistoru, kao i na odstupanje u karakteristikama. Ona ujedno smanjuje utjecaj promjena napona baterije.

Pri proračunu spoja sa stabiliziranom radnom tačkom stupanj postignute stabilnosti obično se izražava *faktorom stabilizacije S. Ovaj je faktor definiran odnosom promjene struje kolektora u stabiliziranom krugu i promjenom struje kolektora u nestabiliziranom krugu*

$$S = \frac{\Delta I_{cs}}{\Delta I_c} = \frac{\text{promjena struje kolektora u stabiliziranom krugu}}{\text{promjena struje kolektora u nestabiliziranom krugu}} \qquad (18)$$

Uz pretpostavku da faktor strujnog pojačanja α_e ne ovisi o temperaturi, i korisna komponenta struje kolektora $I_b \cdot \alpha_e$ (jednadžba 15) neće ovisiti o promjenama temperature. Dakle čitava promjena struje kolektora I_c

bit će jednaka promjeni preostale struje kolektora I_{ceo}. Prema tome faktor stabilizacije možemo pisati u obliku

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_{ceo}} \qquad (19)$$

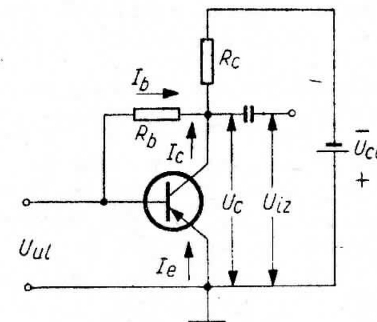
U nestabiliziranom krugu faktor stabilizacije jednak je 1 ($S = 1$), jer je $\Delta I_c = \Delta I_{ceo}$, dok je u stabiliziranom krugu ΔI_c manji od ΔI_{ceo}, pa je isto tako i S manji od 1.

Što je bolja stabilizacija i faktor je stabilizacije manji, pa je S mjerilo kvalitete poštignute stabilnosti. U praktičkim slučajevima nije teško postići faktor stabilizacije manji od 0,1, što znači da će uz iste temperaturne promjene i $S = 0{,}1$ promjena struje kolektora biti deset puta manja u stabiliziranom stanju od one u nestabiliziranom.

Stabilizacija radne tačke postiže se linearnim elementima kao što su otpori, ili pak nelinearnim elementima kao što su termistori — otpori s negativnim temperaturnim koeficijentom, diode (Si, Ge), Zenerove diode itd. Stabilizacija se u stvari odnosi na smanjenje kolektorske struje, a može se postići na načine koje ćemo opisati.

Stabilizacija naponskom reakcijom — otpornikom između kolektora i baze

36. — Principijelna shema spoja prikazana je na sl. 60. Stabilizacija se osniva na naponskoj negativnoj reakciji preko otpornika R_b. Taj se način obično primjenjuje u slučaju kada se u kolektorskom krugu nalazi omski otpor kao potrošač. Ukoliko uslijed povišenja temperature ili kojeg drugog razloga poraste struja kolektora, istovremeno će i na otporniku R_c nastati veći pad napona. Posljedica je toga smanjenje napona kolektor-emiter i kolektor-baza, iz čega slijedi i smanjenje struje baze, koja je približno jednaka U_c/R_b. To smanjenje struje baze prouzrokuje opet smanjenje struje kolektora koja, iako nešto veća od one na prvobitnoj temperaturi, ipak je znatno manja, nego što bi bila u nestabiliziranu stanju.



Slika 60.
Stabilizacija struje kolektora otpornikom između emitera i baze R_b

Faktor stabilizacije za ovakav spoj iznosi

$$S = \frac{1}{1 + \alpha_e \dfrac{R_c}{R_b}} \qquad (20)$$

Faktor stabilizacije bit će dakle to manji, a prema tome će i stabilizacija radne tačke biti bolja, što su veći α_e i R_c, a predotpor baze R_b manji. Na žalost, te se veličine ne mogu po volji birati; veličina α_e određena je samim tranzistorom, otpor R_c ne možemo povećati jer je njegova veličina uvjetovana naponom baterije U_{cc} i kolektorskom strujom I_c, a kako otpor R_b određuje radnu tačku, određena je i njegova veličina.

Promotrimo na praktičnom primjeru način određivanja elemenata stabilizacije. Na primjer, neka je radna tačka određena sa $U_c = 3$V, $I_c = 2$ mA, $\alpha_e = 50$, a napon baterije $U_{cc} = 6$V.

Struja baze približno je jednaka

$$I_b = \frac{I_c}{\alpha_e} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{50} = 40\ \mu\text{A}$$

Otpor baze određuje se kao

$$R_b = \frac{U_c}{I_b} = \frac{3}{40 \cdot 10^{-6}} = 75\ \text{k}\Omega$$

uz uvjet, da je U_c znatno veći od U_{be}, što i zadovoljava, jer je $U_{be} = 100$ mV.

Veličinu otpora R_c dobijemo iz jednadžbe

$$U_b = U_c + R_c \cdot (I_b + I_c)$$

$$R_c = \frac{U_{cc} - U_c}{I_b + I_c} = \frac{3}{2 \cdot 10^{-3}} = 1{,}5\ \text{k}\Omega$$

Uz ove vrijednosti faktor stabilizacije iznosi 0,5.

Maksimalna stabilizacija bit će postignuta ako je kolektorska struja takva da je napon kolektora jednak polovini napona baterije $U_c = \frac{1}{2} U_{cc}$.

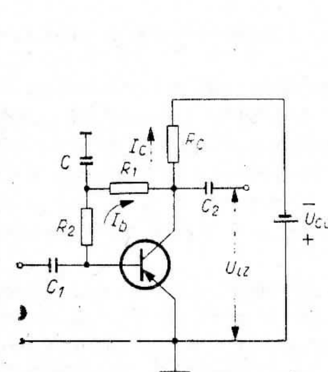
Nezgodna je strana spoja na sl. 60 što osim za istosmjernu, postoji i neželjena negativna reakcija za izmjeničnu komponentu, koja smanjuje korisno pojačanje. Da se ublaži taj utjecaj treba da se otpor R_b podijeli u dva jednaka dijela, a srednja tačka preko kondenzatora uzemlji, (sl. 61).

Kod pojačala s transformatorskim ulazom taj je problem izbjegnut, budući da se otpor R_b priključuje na donji odvojak transformatora, kako je prikazano na sl. 62.

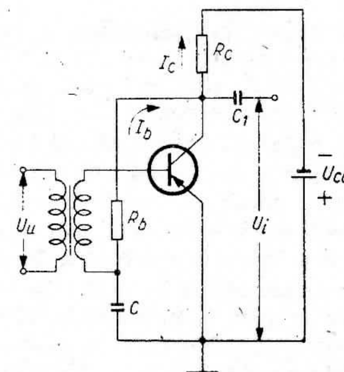
Stabilizacija strujnom negativnom reakcijom — otpornikom u emiteru

37. — Stabilizacija radne tačke strujnom negativnom reakcijom, prikazana na sl. 63, nešto je bolja od gornje, a osniva se na činjenici da su struje kolektora i emitera uglavnom jednake, pa stabilizacija jedne održava konstantnom drugu. Povećanjem struje kolektora raste i struja

emitera I_e, uslijed čega dolazi do većeg pada napona na otporu emitera R_e. Budući da je prednapon baze U_{be} jednak razlici napona baze U_b i pada napona na emiterskom otporu, porastom ovog napona smanjit će se i napon između emitera i baze, $U_{be} = U_b - R_e I_e$, a posljedica toga

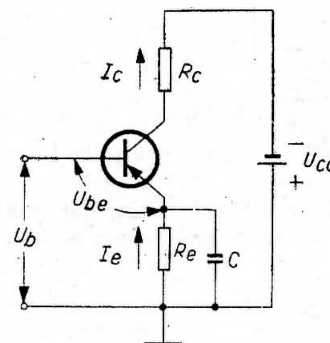


Slika 61.
Stabilizacija struje kolektora naponskom negativnom reakcijom. Kapacitetom *C* izbjegnuta je negativna reakcija za izmjeničnu struju

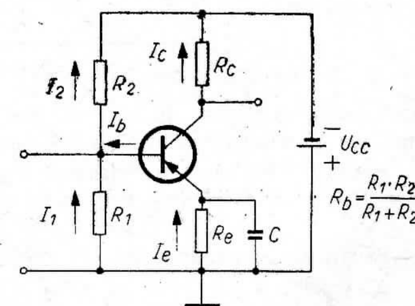


Slika 62.
Stabilizacija radne tačke naponskom negativnom reakcijom kod pojačala sa transformatorskim ulazom

je smanjenje struje baze. Na kraju dolazi do stanja u kojem je struja kolektora nešto veća od prijašnje, ali ipak manja nego u nestabiliziranu spoju. Kao i kod elektronke, gdje se katodni otpor premoštava kondenzatorom da bi se izbjeglo smanjenje izmjeničnog signala, treba da se zbog istih razloga i emiterski otpor premosti kondenzatorom. Veličina kondenzatora u visokofrekventnim sklopovima iznosi oko 0,1 μF, a u



Slika 63.
Stabilizacija kolektorske struje otpornikom u emiteru.



Slika 64.
Stabilizacija radne tačke djeliteljem napona baze i otpornikom u emiteru

niskofrekventnim stupnjevima kreće se u granicama između 10 i 100 μF. Dobra će stabilizacija biti u slučaju da je napon na emiterskom otporu R_e velik prema U_{be}. Dovoljno je da njegova veličina iznosi oko 1 V.

Stabilizacija djeliteljem napona baze i otpornikom u emiteru

38. — Za stabilizaciju se najviše upotrebljava sklop s djeliteljem napona baze i otpornikom u emiteru (sl. 64). Preko otpornog djelitelja $R_1 — R_2$ baza tranzistora dobiva praktički stabilan napon. Princip stabilizacije je ovaj: Ako uslijed povećanja temperature kolektorska struja poraste, porast će također i struja emitera, rezultat čega je smanjenje napona emiter-baza. Posljedica toga je smanjenje struje baze, što opet uvjetuje smanjenje struje kolektora.

Odnos otpora $R_1 — R_2$ bira se prema potrebnom naponu baze za određenu radnu tačku. Radi što bolje stabilizacije mora struja u poprečnoj grani da bude znatno veća u odnosu na struju baze, dakle ukupan otpor djelitelja mora da bude što manji. Međutim, otpori R_1 i R_2 priključeni su paralelno na ulaz i zato njihove vrijednosti ne smiju biti premalene, jer uz mali R_1 i R_2 teče velika struja kroz djelitelj napona, što uvjetuje veliku potrošnju struje, a to bi uveliko pogoršalo stupanj djelovanja pojačala, što je za prijenosne uređaje naročito nepoželjno. Osim toga mali R_b smanjuje i ulazni otpor tranzistora, dakle i pojačanje. Veličina otpora R_b $\left(R_b = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)$ zbog navedenih je razloga određena kompromisno, između malog potroška struje i velikog pojačanja s jedne strane, i dopuštenog odstupanja radne tačke s druge strane. Otpor R_e treba da se premosti kondenzatorom, kako bi se spriječilo smanjenje pojačanja izmjenične komponente. Faktor stabilizacije tog sklopa iznosi

$$S = \frac{1}{1 + \dfrac{\alpha_e \cdot R_e}{R_e + R_b}} \quad \text{. . . . . . . (21)}$$

gdje je R_b ukupni otpor baze, $R_b = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. Da faktor S bude što manji treba, dakle, da su α_e i R_e što veći, a R_b što manji. Sada možemo opet promotriti prilike na jednom primjeru u praksi.

Radna tačka neka je određena sa: $U_c = 2$V, $I_c = 3$ mA, napon baterije $U_{cc} = 6$ V, faktor pojačanja $\alpha_e = 50$, a prednapon baze oko 100 mV.

Struja baze jednaka je

$$I_b = \frac{I_c}{\alpha_e} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{50} = 60 \ \mu\text{A}$$

Stabilizacija radne tačke bit će to bolja što je veći pad napona na emiterskom otporu u odnosu na napon baze. Dovoljno je da napon na

emiterskom otporu bude barem deset puta veći od napona baze. Dakle, uz $U_b = 0{,}1$ V treba da U_e iznosi: $U_e = 10 \cdot U_b = 1$ V. Odatle možemo izračunati otpor R_e

$$R_e = \frac{U_e}{I_e} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} = 330 \ \Omega$$

Djelitelj napona $R_1 — R_2$ dimenzioniran je prema već prije navedenom uvjetu da struja koja teče kroz otpore mora da bude što veća u odnosu na struju baze I_b. Zadovoljavajući rezultati postižu se ako je ta struja barem deset puta veća od struje baze. U našem slučaju struja baze iznosi 60 μA, pa je dakle struja

$$I_1 = 600 \ \mu\text{A}$$

a struja

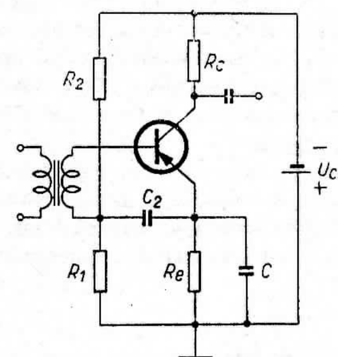
$$I_2 = I_1 + I_b = 600 + 60 = 660 \ \mu\text{A}$$

Zanemarivši napon U_{be}, napon na otporu R_2 približno je jednak $U_{cc} — U_e$. Odatle dobivamo vrijednost R_2

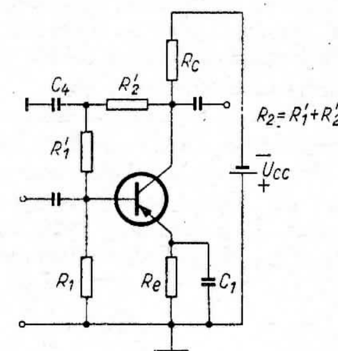
$$R_2 = \frac{U_{cc} - U_e}{I_2} = \frac{6 - 1}{0{,}66 \cdot 10^{-3}} = 7{,}6 \text{ k}\Omega \quad \text{i} \quad R_1 = \frac{U_e}{I_1} = \frac{1}{0{,}6 \cdot 10^{-3}} = 1{,}67 \text{ k}\Omega$$

S ovim podacima izračunati faktor stabilizacije iznosi oko 0,1.

Kod pojačala s transformatorskim ulazom utjecaj R_1 i R_2 izbjegnut je spajanjem na način prikazan na sl. 65.



Slika 65.
Utjecaj R_1 i R_2 za stabilizaciju kao i na sl. 64 izbjegnut je kod pojačala sa transformatorskim ulazom



Slika 66.
Kombinirana stabilizacija radne tačke. Strujna reakcija postignuta je otpornikom R_e, a naponska otpornicima R_1' i R_2'. Kondenzatorima C_1 i C_4 izbjegnuta je negativna reakcija za izmjeničnu struju

Stabilizacija strujnom i naponskom negativnom reakcijom

39. — Ovaj spoj, (sl. 66), naročito je pogodan u slučaju kad postoji visok napon napajanja. Tu je stabilizacija izvedena pomoću strujne i naponske reakcije. Strujna reakcija postignuta je otporom u emiteru R_e, a naponska, koja ima veće značenje, preko otpora R_2 ($R_2 = R_1' + R_2'$). Kondenzatori C_1 i C_4 sprečavaju negativnu reakciju za izmjeničnu struju. U praktičnom primjeru, uz poznatu radnu tačku, dimenzionirat ćemo elemente prema ovom kriteriju: otpor R_2 treba da je dva puta veći od R_1 ($R_2 = 2\,R_1$), dok je $R_1 = 10\,R_e$. Otpor R_e određuje se, kako je već prije navedeno, prema uvjetu da napon na emiterskom otporu bude deset puta veći od napona baze. Do navedenih kriterija došlo se na osnovu praktičkih iskustava i oni sasvim zadovoljavaju u praksi. Koji je od navedenih načina za stabilizaciju radne tačke najpovoljniji ovisi najviše o načinu veze između stupnjeva. Međutim najviše se primjenjuje stabilizacija s otporom u emiteru i djeliteljem napona baze.

Stabilizacija radne tačke nelinearnim elementima

40. — Stabilizacija radne tačke izvedena prije opisanim načinima ne zadovoljava u svim slučajevima. To naročito vrijedi za izlazna pojačala (koja rade na granici disipacije i podložna su termičkoj nestabilnosti) i za sklopove u kojima se traži velika temperaturna stabilnost.

Da bismo postigli što bolju stabilizaciju radne tačke potrebno je uzeti što veći otpor u emiterskom krugu R_e i što manji napon napajanja. Stavljanje emiterskog otpora nije međutim poželjno zbog znatnog gubitka korisne snage koja se troši na njemu. U takvim se slučajevima stabilizacija provodi nelinearnim elementima, prvenstveno NTC - otporima (termistorima) — otporima s velikim negativnim temperaturnim koeficijentom od —2 do —6%/°C. Svojstva su ovih otpornika da im povišenjem temperature otpor pada približno po eksponencijalnom zakonu. Kako se i struja kolektora mijenja prema sličnom zakonu, takvim je elementima moguće postići dobru stabilizaciju.

Proizvođači u podacima za NTC-otpornike daju većinom vrijednost otpora pri sobnoj temperaturi od 20 ili 25°C i vrijednost materijalno-geometrijske konstante b (°K). Iz poznate materijalno-geometrijske konstante i R_{25} izračuna se R_T za svaku željenu temperaturu unutar dopuštenog područja, prema formuli

$$R_T = R_{25}\, e^{\,b\left(\frac{1}{273 + t} - \frac{1}{298}\right)}$$

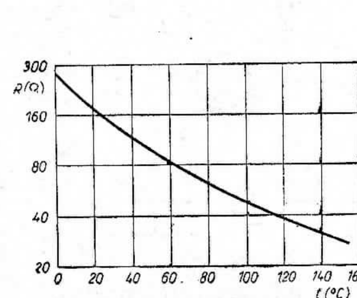
gdje je

R_T — otpor na određenoj temperaturi
R_{25} — otpor na temperaturi od 25°C
e — 2,718
b — materijalno-geometrijska konstanta u °K
t — temperatura u °C

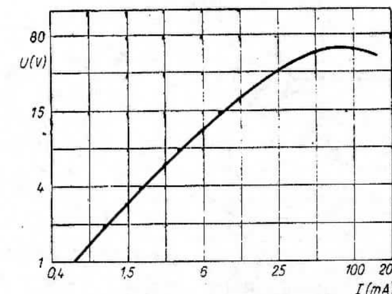
Formula (22) dobiva jednostavniji oblik ako se radi o manjim temperaturnim promjenama

$$R_T = R_{25}\,(1 + \alpha\,\vartheta)$$

Za NTC-otpore daje se temperaturna i strujno-naponska karakteristika. Na sl. 67 možemo vidjeti što se događa uslijed zagrijavanja otpornog tijela temperaturom okoline. Krivulja prikazuje ovisnost otpora o promjeni temperature. Strujno-naponska karakteristika pokazuje promjenu



Slika 67.
Dijagram pokazuje promjenu otpora NTC otpornika sa temperaturom



Slika 68.
Strujno-naponska karakteristika NTC-otpornika. Nastalom strujnom toplinom uz konstantnu temperaturnu okolinu dolazi do promjene otpora

otpora nastalu strujnom toplinom uz konstantnu temperaturu okoline, (sl. 68). Iz R_T-krivulje za jedno temperaturno područje možemo izračunati vrijednost b prema formuli

$$b = 2{,}303\,\frac{\lg R_1 - \lg R_2}{\dfrac{1}{T_1} - \dfrac{1}{T_2}} \qquad (23)$$

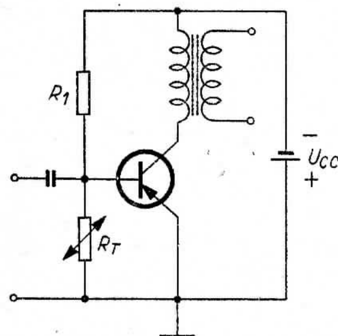
U gornjem izrazu R_1 je otpor pri temperaturi T_1, a R_2 pri temperaturi T_2.

41. — Najobičniji je način stabilizacije spajanje NTC-otpornika u djelitelj napona između baze i emitera, (sl. 69). Uslijed povišenja temperature smanjuje se otpor termistora, a stoga i napon između baze i emitera; rezultat toga je smanjenje struje baze, što opet sprečava porast struje kolektora.

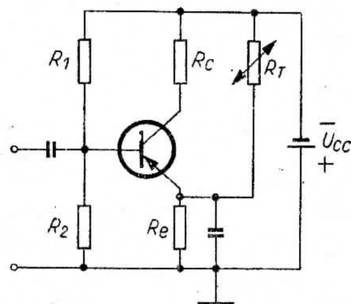
Drugi sklop stabilizacije radne tačke s termistorom prikazan je na sl. 70. Ovdje je stabilizacija izvedena djeliteljem napona R_e — R_T. Djelovanjem temperature smanjuje se otpor R_T, dakle napon na emiterskom otporu R_e raste. Rezultat toga je smanjenje napona baze i stabi-

lizacija kolektorske struje. Ovaj spoj ima izvjesnu prednost, budući da elementi stabilizacije ne utječu na izmjeničnu komponentu.

U sklopovima iz prakse NTC-otpornici se ne vežu na način prikazan u primjerima na sl. 69, 70, nego u kombinacijama s linearnim otpornicima. To ćemo najbolje shvatiti razmatrajući praktički primjer. Na



Slika 69.
NTC-otpornik R_T spojen u donju granu djelitelja napona kompenzira promjene radne tačke nastale pri različitim temperaturama okoline



Slika 70.
Stabilizacija otpornicima R_T i R_e. Povišenjem temperature vrijednost otpora R_T pada. Raste napon na otporniku R_e, znači smanjuje se struja kolektora

sobnoj temperaturi otpor termistora iznosi R_{25} = 2.000 Ω, a temperaturni koeficijent $\alpha_T = -0{,}04$. Uz povišenje temperature od 1°C možemo koristiti formulu

$$R_T = R_{25}\,(1 - \alpha_T \vartheta) = 2.000\,(1 - 0{,}04) = 2.000 - 80\ (\Omega)$$

Ako je struja koja teče kroz termistor 1 mA, na otporu R_T dolazi do pada napona

$$I \cdot R_T = 2.000 \cdot 10^{-3} - 80 \cdot 10^{-3}\ (\mathrm{V})$$

Budući da je otpor u praktičnom sklopu priključen između baze i emitera, pri promjeni temperature od 1°C napon baze promijenio bi se za 80 mV. To je vrlo mnogo u poređenju s promjenama ulaznog napona tranzistora s temperaturom. Ta se promjena kreće od 1,5 do 2,5 mV/°C, ovisno o vrsti tranzistora.

Struja koja teče kroz termistor, potrebna za kompenzaciju ulaznog napona koji nastaje s promjenama temperature (na primjer 2,4 mV/°C), iznosi

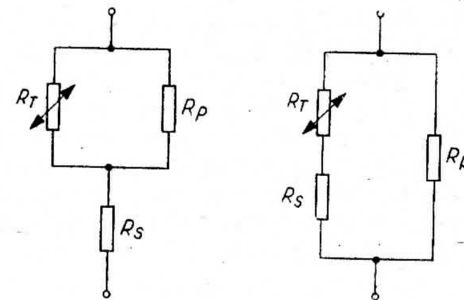
$$I_T = \frac{\Delta U}{\Delta R} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-3}}{80} = 30\ \mu\mathrm{A}$$

Ova struja stvara na otporniku R_T pad napona

$$U_T = I_T R_T = 30 \cdot 10^{-6}\,(2000 - 80) = 60 \cdot 2{,}4 = 57{,}6\ \mathrm{mV}$$

Pogledamo li pažljivije vidjet ćemo da je to u isti mah i napon između baze i emitera. Kako sad na bazi vlada napon samo od 57,6 mV to je očigledno premalo, budući da nam je za radnu tačku potreban napon barem 100 mV.

Problem ćemo riješiti kombinirajući NTC-otpor s linearnim otporima spajajući ih serijski, paralelno, ili načinom prikazanim na sl. 71. U našem slučaju vrijednost potrebnog serijskog otpora za U_b = = 150 mV iznosi



Slika 71.
Kombiniranjem NTC-otpornika sa linearnim otporima dobiva se povoljnija temperaturna karakteristika

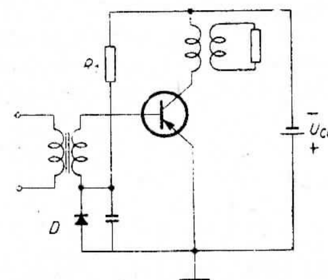
$$R_S = \frac{U_b - U_{TO}}{I_T} = \frac{(150 - 60) \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-6}} = 3\ \mathrm{k}\Omega$$

Budući da su upotrebom termistora kompenzirane samo promjene nastale variranjem temperature okoline, pokazalo se da je i uz tu stabilizaciju potreban emiterski otpor R_e, kako bi se izbjegao porast struje kolektora, koji nastaje uslijed vlastitog zagrijavanja tranzistora. Kod izlaznih stupnjeva on iznosi samo 3 do 5 Ω.

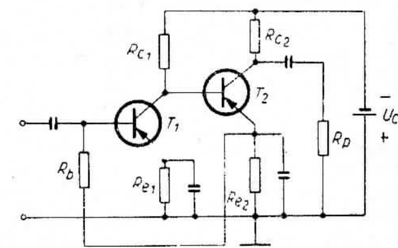
Montažom NTC-otpora na tranzistor prenosi se temperatura spoja na otpor i tako su istovremeno kompenzirane promjene temperature nastale zagrijavanjem tranzistora.

Pravilnim izborom elemenata moguće je u tom sklopu postići potpunu stabilizaciju.

Stabilizacija radne tačke diodom. Stabilizacija radne tačke diodom od poluvodiča vrlo je pogodna, jer diode imaju skoro isti temperaturni



Slika 72.
Umjesto otpornika R_T, sl. 69 može se koristiti diode građene od sličnog materijala kao i tranzistor



Slika 73.
Bolja stabilizacija postiže se negativnom reakcijom preko više stupnjeva. Na slici prikazana je negativnom reakcijom preko dva stupnja

koeficijent kao i tranzistori. Jasno je da ovdje treba upotrijebiti diodu izrađenu od istog materijala ili što sličnijeg onome od kojeg su tranzistori. U pojačalu s transformatorskim ulazom može se upotrijebiti stabilizacija prikazana na sl. 72. Dioda D spojena je u propusnom smjeru, i za izmjenične signale premoštena je kondenzatorom. Na diodi vlada istosmjerni napon, određen unutarnjim otporom diode i veličinom otpora R_1. Uslijed porasta temperature smanjuje se otpor diode, pa će se i napon između baze i emitera također smanjiti, tako da će struja kolektora praktički ostati nepromijenjena.

Negativna reakcija istosmjerne struje preko nekoliko stupnjeva pojačala

42. — U dosad opisanim načinima postignuta je stabilizacija radne tačke negativnom reakcijom za istosmjernu struju, tj. vraćanjem promjena kolektorskog napona i struje emitera, nastalih uslijed variranja temperature na ulaz. Takva negativna reakcija može biti provedena i preko dva ili više stupnjeva, pa je u tom slučaju stabilizacija mnogo efikasnija nego unutar samo jednog tranzistora.

Direktnu vezu između tranzistora lako je postići, budući da oni rade s vrlo niskim kolektorskim naponima. Jedan takav sklop prikazan je na sl. 73. Struja baze prvog tranzistora T_1 određena je strujom emitera i emiterskim otporom tranzistora T_2, dok je struja baze tranzistora T_2 određena prvim tranzistorom i padom napona na kolektorskom otporu R_{c1}. Ako se zbog povećanja temperature poveća struja kolektora tranzistora T_2, povisit će se i struja emitera koja na emiterskom otporu stvara veći pad napona. To povišenje izaziva povećanje struje baze prvog tranzistora, što opet uzrokuje povećanje kolektorske struje i smanjenje struje baze tranzistora T_2, koje se protivi prvobitnom djelovanju. Rezultat toga je dobra stabilizacija.

Dosad navedenim načinima stabilizacije uglavnom smo se upoznali s osnovnim metodama kompenzacije utjecaja temperature na rad tranzistora, što će biti dovoljno za proučavanje daljnjih primjena i sklopova tranzistora.

Pitanja

1. Kakva je razlika između vodiča, poluvodiča i izolatora?
2. Iako se elektroni i šupljine giblju pod utjecajem električkog polja u suprotnim smjerovima, zašto je rezultat takvog gibanja istosmjerna struja?
3. Šta se događa kad se šupljina sudari sa slobodnim elektronom?
4. Definiraj: kovalentnu vezu, šupljinu, akcepter, donor i potencijalnu barijeru!
5. Opiši proces koji se zbiva kada se P-tip i N-tip germanij spoje zajedno!
6. Protumači utjecaj napona polariziranog u propusnom smjeru na PN-spoj!

7. Ekvivalentni napon PN-spoja u ravnoteži iznosi 0,3 V. Napon od 1 V polariziran u propusnom smjeru proizvodi struju 100 mA. Koja je efektivna vrijednost otpora u propusnom smjeru?
8. Kolika će struja teći stezaljkama PN-spoja sa ekvivalentnim naponom potencijalne barijere 0,3 V uz kratkospojene stezaljke?
9. Koje su dvije glavne vrste tranzistora? Definiraj simbole *E, B* i *C!*
10. Zašto je baza kod slojnog tranzistora znatno tanja od emitera i kolektora?
11. Zašto je efektivna širina baze uža kada je na kolektorski spoj priključen napon polariziran u zapornom smjeru, nego bez priključenog napona?
12. Na koji se način povisuje gornja granična frekvencija tranzistora sa površinskom barijerom? Do koje granice je to moguće postići?
13. Što je kapacitet PN-spoja i kako nastaje?
14. Skiciraj PNP-slojni tranzistor sa priključnim baterijama. Opiši način rada tranzistora!
15. Koje strujne krugove razlikujemo kod tranzistora? Da li u ulaznom krugu teče struja?
16. Koja su tri spoja sa elektronkama ekvivalentna tranzistorskim spojevima sa uzemljenim emiterom, uzemljenom bazom i uzemljenim kolektorom? Navedi glavne karakteristike ovih spojeva!
17. Koje su osnovne električke razlike između tranzistora i elektronke?
18. Koje su najvažnije karakteristike tranzistora?
19. Opiši metode za mjerenje ulaznih i izlaznih karakteristika!
20. Na koji je način moguće promatranjem izlaznih karakteristika uočiti razliku između unutarnjeg otpora tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom i spoju sa zajedničkim emiterom?
21. Kako se određuje ulazni otpor, izlazni otpor, faktor strujnog pojačanja i povratno djelovanje tranzistora?
22. Navedi jednadžbe za faktor strujnog pojačanja, povratno djelovanje, ulazni i unutarnji otpor tranzistora! Zašto navedene veličine nisu konstantne?
23. U spoju sa zajedničkom bazom faktor strujnog pojačanja određenog tipa tranzistora kreće se od 0,9 do 0,99. U kojim se granicama nalazi strujno pojačanje u spoju sa zajedničkim emiterom i u spoju sa zajedničkim kolektorom?
24. Navedi razliku između parametara malih signala i parametara velikih signala?
25. Nabroji parametre koji se koriste kod tranzistora!
26. Da li je kod tranzistornih spojeva upotrebljenih u visokofrekventpodručju potrebno izvršiti neutralizaciju?
27. Kako je definirana gornja granična frekvencija?
28. Kako dolazi do temperaturne povratne reakcije? Što je to termička nestabilnost?
29. Što označava toplinski otpor? Maksimalna kolektorska dispozicija tranzistora je 30 mW kod 40°C i 400 mW kod 20°C. Nađi efektivni toplinski otpor? Kakva smije biti disipacija uz maksimalnu temperaturu 30°C?
30. O čemu ovisi maksimalno dopustiva kolektorska snaga?
31. Kako je definiran faktor stabilizacije? U kojim se granicama kreće njegova vrijednost (numerički)?
32. Navedi načine stabilizacije radne tačke i koji su od njih najpogodniji?
33. Kakva se prednost postiže ako je stabilizacija izvedena nelinearnim elementima?
34. Zašto je preostala struja kolektora znatno veći problem u spoju sa zajedničkim emiterom, nego u spoju sa zajedničkom bazom?

DODATAK UZ II DIO

Ing. Branko Somek

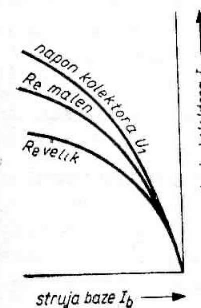
Niskofrekventna tranzistorska pojačala

Radna karakteristika

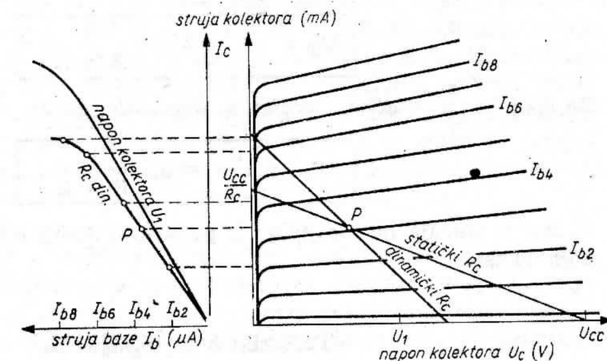
43. — Kako nam je poznato, pomoću struje baze moguće je mijenjati struju kolektora praktički bez tromosti. Za razliku od elektronki, u kojima se anodna struja mijenja bez utroška energije, kod tranzistora je potrebna izvjesna energija na ulazu, da se dobije promjena kolektorske struje na izlazu. U dosadašnjim razmatranjima bio je kolektorski krug uvijek kratko spojen, što znači da je kolektor bio spojen direktno na bateriju. Da bi se djelovanje tranzistora kao pojačala moglo iskoristiti, potrebno je međutim da u krugu kolektora bude potrošač. Uslijed tog opterećenja nastupaju znatne promjene pogonskih odnosa.

Imamo li u kolektorskom krugu omski otpor R_c, neće kolektor biti na punom naponu baterije U_{cc}, jer će kolektorska struja stvarati na kolektorskom otporu R_c pad napona $I_c R_c$. Kolektorski napon bit će dakle samo $U_c = U_{cc} - I_c R_c$. Što je veći kolektorski otpor R_c, to će manji biti kolektorski napon U_c.

Kolektorski napon bit će, usprkos stalnom naponu baterije, promjenljiv i ovisan o jakosti kolektorske struje. Na taj način prelazi statička karakteristika tranzistora u dinamičku ili radnu karakteristiku. Kao što vidimo na sl. 74, dinamičke su karakteristike niže što je veći kolektorski otpor. To znači da će dinamički faktor strujnog pojačanja biti



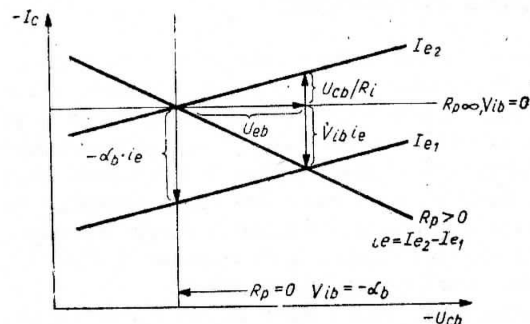
Slika 74.
Statička i dinamička karakteristika tranzistora



Slika 75.
Iz izlaznih karakteristika dobiva se statičke i dinamičke karakteristike

manji od dosada nam poznatog statičkog faktora strujnog pojačanja kratkog spoja.

Kod neznatnih kolektorskih struja postaje i pad napona $I_c R_c \simeq 0$, dakle kolektorski je napon jednak naponu baterije, pa početak dinamičke karakteristike pada u istu tačku s početkom statičke karakteristike, uz dani napon baterije U_{cc}. Dinamička karakteristika može se snimiti mjerenjem, a isto se tako može dobiti i iz statičkih karakteristika crtanjem i računom. Dinamička karakteristika faktora strujnog pojačanja može se konstruirati iz izlaznih karakteristika, ako je zadana veličina kolektorskog otpora i napona baterije. Na sl. 75 vidimo statičku i dinamičku karakteristiku, dobivene iz izlaznih karakteristika. Što je veći kolektorski otpor, to će ova krivulja biti niža i jače zakrivljena, pa će i faktor strujnog pojačanja biti manji. Kako je prikazano na sl. 76, gdje su dani odsječci izlaznih karakteristika u spoju sa zajedničkom bazom, i ucrtani radni pravci $R_p = 0$ i $R_p > 0$, kolektorska je struja za U_{cb}/R_i manja kod opterećenja R_p od struje kratko spojenog izlaza, uz $R_p = 0$, gdje je R_i izlazni otpor tranzistora u neopterećenu stanju. Označimo li sa V_{ib} faktor strujnog pojačanja u spoju sa zajedničkom bazom, dobivamo



Slika 76.
Odsječci izlaznih karakteristika u spoju sa zajedničkom bazom sa ucrtanim radnim pravcima $R_p = 0$, $R_p = \infty$ (neopterećen) i $R > 0$

$$V_{ib} = \frac{i_c}{i_e} = -\alpha_b \frac{R_i}{R_i + R_p} \quad \ldots\ldots (24)$$

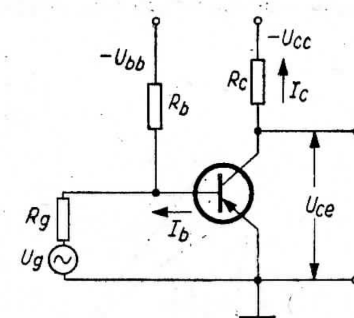
Za spoj sa zajedničkim emiterom dobivamo za V_{ie}

$$V_{ie} = \frac{i_c}{i_b} = \alpha_e \frac{R_i}{R_i + R_p} \quad \ldots\ldots (25)$$

U oba je slučaja faktor strujnog pojačanja manji od onog u neopterećenom krugu.

Tranzistor kao pojačalo

44. — U dosadašnjem razmatranju rada tranzistora pretpostavili smo uvijek da na ulazu tranzistora vlada istosmjeran napon. Kako se međutim uvijek radi o pojačanju izmjeničnog napona, moramo pogledati slučaj kad je na ulaz doveden izmjenični signal. To stanje možemo ostvariti spojem kao na sl. 77, koja prikazuje spoj pojačala PNP-tranzistora s uzemljenim emiterom. Na ulaznim priključnicama u krugu baze nalazi se niskofrekventni generator izmjeničnog napona. Radna tačka može biti određena sa I_b i U_c, sa I_b i I_c, ili sa I_c i U_c. U našem je slučaju međutim radnu tačku najlakše odrediti sa I_b i U_c. Veličina otpora R_b i napon baterije U_{bb} određuju struju baze, koja približno iznosi $\frac{U_{bb}}{R_b}$, budući da je napon U_{be} zanemarivo malen. Kolektorska struja direktno je proporcionalna struji baze; relacija između ovih dviju, već prije zabilježena, iznosi



Slika 77.
Stupanj pojačala sa uzemljenim emiterom

$$I_c = \alpha_e I_b + I_{ceo}$$

Napon U_c ovisan je o struji I_c, otporu R_c i naponu baterije U_{cc} prema relaciji

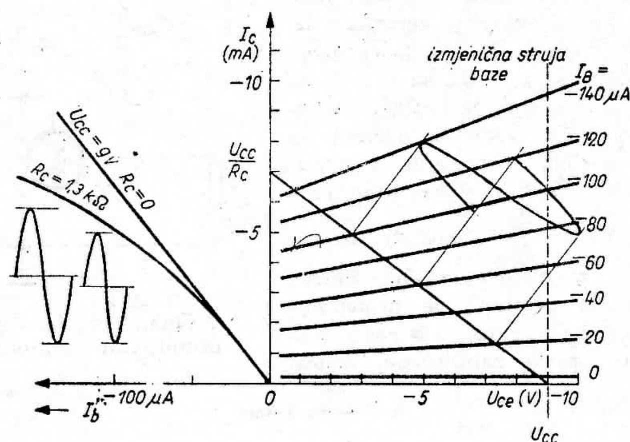
$$U_{ce} = U_{cc} - I_c R_c$$

Znači, radnu tačku možemo u našem slučaju mijenjati elementima R_b, R_c, U_{bb} i U_{cc}. Baterije U_{bb} i U_{cc} predstavljaju za izmjeničnu komponentu kratak spoj.

U prvi mah uzmimo da je kolektorski otpor R_c kratko spojen, da je dakle $R_c = 0$. Neka je u ovom slučaju struja mirovanja baze $I_b = -60\,\mu A$. Izmjenična struja superponirana struji baze neka ima amplitudu 40 μA. Kao posljedica te izmjenične struje nastat će promjene kolektorske struje, koje se dadu lako odrediti iz izlazne karakteristike $U_c - I_c$. Kako se vidi iz primjera na sl. 78, kolektorska struja mirovanja za danu struju baze iznosi 3,15 mA. Ako sada struja baze varira za 40 μA, dakle između —20 μA i —100 μA, nastupit će odgovarajuće promjene kolektorske struje, koje iznose $\pm 2{,}2$ mA. Kolektorska izmjenična struja superponirana struji mirovanja, izazvana izmjeničnom strujom baze u ulaznom krugu, ima isti oblik kao i ova posljednja, što znači da se proces vrši bez izobličenja.

45. — Imamo li u kolektorskom krugu omski otpor R_c, moramo kao osnovu našeg razmatranja uzeti dinamičku karakteristiku. U polju izlaznih karakteristika (sl. 78), ucrtan je radni pravac i izvedena dinamička karakteristika. Radni pravac određen je tačkom U_{cc} — naponom baterije na U_{ce}-osi i tačkom $I_c = \frac{U_{cc}}{R_c}$ na I_c-osi. Radna tačka na pravcu određena je strujom baze I_b. Promjena kolektorske struje bit će sada, usprkos jednakom naponu na bazi, znatno manja nego uz $R_c = 0$,

pa iznosi na primjer $\pm 1{,}8$ mA, prema $\pm 2{,}2$ mA, kako je bilo prije uz $R_c = 0$. Kolektorska struja mijenja se između vrijednosti 1,1 i 4,9 mA. Kako smo već vidjeli u odsjeku 43, napon kolektora U_c kod opterećenog



Slika 78.
Izlazne i radne karakteristike tranzistora OC 66 u spoju sa zajedničkim emiterom. Uz $R_c > 0$ iako je napon baze jednak kao i za $R_c = 0$ promjene struje kolektora bit će manje

tranzistora ovisan je o kolektorskoj struji. Izmjenična struja koja teče u kolektorskom krugu stvara na kolektorskom otporu izmjenični pad napona. Pretpostavimo da generator daje u promatranom momentu u krugu baze mali pozitivni napon u_{be} (promatramo spoj sa zajedničkim emiterom!). Tada će ovaj napon smanjiti napon U_{be} koji je, kako je poznato, negativan, i struja baze postaje manja za iznos u_{be}/R_{ue}.

Smanjenje ulazne struje I_b za iznos $u_{be}/(R_{ue} + R_g)$ smanjuje pak kolektorsku struju približno za $V_{ie}u_{be}/R_{ue}$. Uslijed smanjenja izmjenične struje koja teče u kolektorskom krugu smanjit će se izmjenični pad napona na opteretnom otporu ($V_{ie} \cdot u_{be} \cdot R_g/R_{ue}$). Zbog toga će nastati odgovarajuća promjena napona i na kolektoru, pa će i on biti negativniji što je manji pad napona na kolektorskom otporu R_c. Na kolektoru imamo dakle, osim istosmjernog napona, i superponirani izmjenični napon. Izmjenični napon kolektora iste je veličine kao i pad napona na kolektorskom otporu R_c, samo protivnog smjera. Za spoj sa zajedničkim emiterom izlazni napon ima fazni pomak od 180° prema ulaznom naponu.

46. — Promotrimo sada spoj sa zajedničkom bazom. Pretpostavimo opet da generator u promatranom momentu daje mali pozitivni napon u_{eb}. Ovaj napon izaziva u ulaznom krugu povećanje emiterske struje za U_{eb}/R_{ub}, što daje povećanje struje za $\alpha_b \cdot u_{eb}/R_{ub}$. Povećanje struje

kolektora stvara na opteretnom otporu R_c pad napona, koji na kolektorskoj strani otpora R_c postaje pozitivniji približno za iznos $\alpha_b u_{eb} R_c/R_{ub}$. Promjene napona u spoju sa zajedničkom bazom idu u istom smjeru, znači, one su u fazi.

Pojačanje napona i snage

47. — U posljednjim poglavljima upoznali smo se na nekoliko primjera s grafičkim prikazom izmjeničnih odnosa koji se dešavaju u tranzistoru, ako radi kao pojačalo. Sad ćemo pogledati pojačanje napona i snage u tim stupnjevima i međusobno ih usporediti.

Izraz $V_u = \dfrac{U_i}{U_u}$ (izlazni izmjenični napon prema ulaznom izmjeničnom naponu) naziva se *naponskim pojačanjem*. Za spoj sa *zajedničkom bazom* ono iznosi

$$\boxed{V_{ub} = \frac{U_{cb}}{U_{eb}} = -V_{ib} \cdot \frac{R_c}{R_{ub}}} \quad \ldots\ldots \quad (26)$$

U ovom slučaju predznak minus pred izrazom označava da su promjene ulaznog i izlaznog napona u fazi, budući da je V_{ib} negativan. U jednadžbama moramo uvijek za R_i i R_u uvrstiti aktivan izlazni i ulazni otpor koji je, kako znamo, ovisan o radnoj tački.

Za spoj s *zajedničkim emiterom* pojačanje napona izmjeničnog signala jest:

$$\boxed{V_{ue} = \frac{U_{ce}}{U_{be}} = -V_{ie} \cdot \frac{R_c}{R_{ue}}} \quad \ldots\ldots \quad (27)$$

U gornjoj jednadžbi, s obzirom na to da je V_{ie} pozitivan, predznak minus označava postojanje faznog pomaka za 180° između ulaznog i izlaznog napona.

48. — Kako su tranzistori u biti pojačala snage, izračunat ćemo i *pojačanje snage*.

Pod pojačanjem snage V_s podrazumijeva se odnos snage dobivene na potrošaču i ulazne snage privedene tranzistoru. U spoju sa zajedničkom bazom dobivena izmjenična snaga iznosi $i_c^2 \cdot R_c$, dok je privedena snaga $i_e^2 R_{ub}$.

Za pojačanje snage u spoju *baze* vrijedi izraz

$$\boxed{V_{sb} = \frac{i_c^2 R_c}{i_e^2 R_{ub}} = V_{ib}^2 \cdot \frac{R_c}{R_{ub}} = -V_{ib} \cdot V_{ub}} \quad \ldots \quad (28)$$

Za *emiterski* spoj dobije se međutim

$$\boxed{V_{se} = V_{ie}^2 \cdot \frac{R_c}{R_{ue}} = -V_{ie} \cdot V_{ue}} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Iz prednjih jednadžbi izlazi da produkt pojačanja napona i pojačanja struje daje pojačanje snage. Ako je opteretni otpor R_c malen, jednadžbe (28 i 29) dobivaju jednostavniji oblik

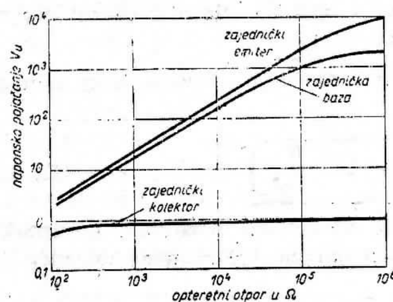
$$V_{sb} = \alpha_b \cdot V_{ub}$$

$$\text{i} \quad V_{se} = -\alpha_e \cdot V_{ue}$$

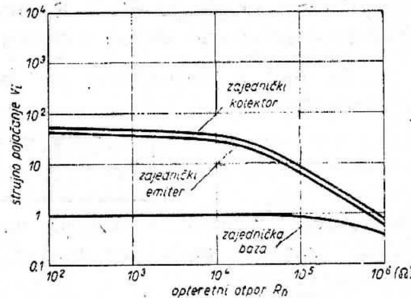
Uspoređenje tranzistorskih spojeva

49. — U daljim izlaganjima o primjenama tranzistora bit će uglavnom govora o spoju sa zajedničkim emiterom, koji se najviše koristi. Potrebno je međutim utvrditi razloge toj činjenici, uspoređujući ovaj spoj s drugim načinima spajanja: uzemljenom bazom i uzemljenim kolektorom.

Naponsko pojačanje. Spojevi sa zajedničkim emiterom i zajedničkom bazom imaju, uz jednake opteretne otpore, uglavnom isto pojačanje napona, kao što se vidi u dijagramu, (sl. 79). Međutim u spoju sa zajedničkim kolektorom naponsko pojačanje nikad nije veće od jedinice. Tek s velikim opteretnim otporom približno je jednako jedan.



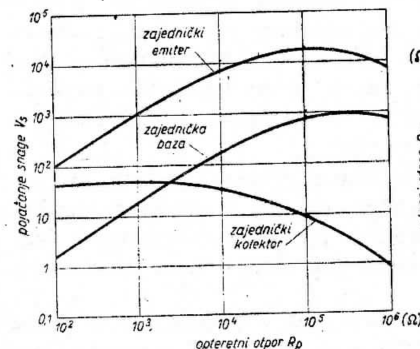
Slika 79.
Dijagrami pokazuju promjene naponskog pojačanja sa opterećenjem



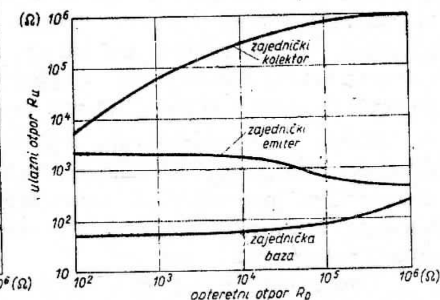
Slika 80.
Ovisnost strujnog pojačanja o opteretnom otporu. Strujno pojačanje za spoj sa zajedničkim emiterom i zajedničkim kolektorom uglavnom su jednaka. Pri većem R_p opada. U spoju sa zajedničkom bazom iznosi približno jedan

Strujno pojačanje. Spojevi sa zajedničkim emiterom i zajedničkim kolektorom imaju približno isto pojačanje struje; ono obično pada s većim vrijednostima opteretnog otpora R_p. U spoju sa zajedničkom bazom faktor strujnog pojačanja uvijek je manji od jedan, (sl. 80).

Pojačanje snage. Produkt strujnog i naponskog pojačanja daje krivulju pojačanja snage na sl. 81, koja pokazuje da spoj sa zajedničkim emiterom daje najveće pojačanje snage za sve vrijednosti opteretnog otpora, a to je i uzrok njegovoj najčešćoj upotrebi.



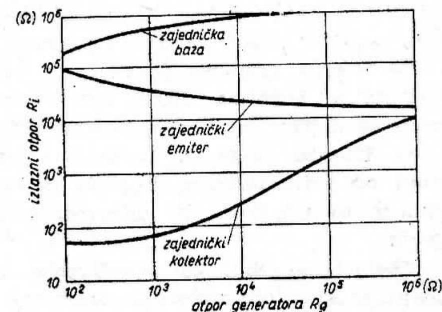
Slika 81.
Pojacanje snage mijenja se sa otporom potrošača. U spoju sa zajedničkim emiterom ono je najveće



Slika 82.
Ovisnost ulaznog otpora o opteretnom otporu

Ulazni otpor. Krivulje na sl. 82 označavaju ulazni otpor za različite spojeve. Najveću vrijednost ima ulazni otpor u spoju sa zajedničkim kolektorom (koja se kreće iznad 20 kΩ), ulazni otpor u spoju sa zajedničkim emiterom malen je, iznosi između 400 Ω i 2000 Ω, dok je u spoju sa zajedničkom bazom još manji i iznosi oko 50 Ω, tako da je u tom spoju teško postići prilagođenje tranzistora na slijedeći stupanj.

Izlazni otpor. Izlazni otpor nije funkcija opterećenja R_p, već je ovisan o otporu generatora R_g. Na sl. 83 dana je ovisnost izlaznog otpora o otporu generatora. Izlazni otpor u spoju sa zajedničkim kolektorom malen je, a već prije smo vidjeli da taj spoj ima velik ulazni otpor, pa uglavnom služi za transformiranje otpora. Tranzistor u ovom slučaju ne unosi fazni pomak u pojačanje.



Slika 83.
Promjena otpora generatora izaziva primjene izlaznog otpora

Spoj sa zajedničkom bazom temperaturno je stabilan, dok je u spojevima sa zajedničkim emiterom i zajedničkim kolektorom potrebno provesti posebnu temperaturnu stabilizaciju.

Niskofrekventna pojačala malih signala

50. — Niskofrekventno pojačalo s tranzistorima sastavljeno je kao i kod elektronki, od pretpojačala i izlaznog pojačala. U pretpojačalu se slabi izmjenični naponi iz demodulatora, mikrofona, zvučnica ili magnetofonskih glava pojačavaju toliko da mogu pobuditi izlazno pojačalo. Prema veličini pobudnog signala niskofrekventna pojačala s tranzistorima nazivaju se pojačalima malih signala (pretpojačala) i pojačalima velikih signala (izlazna pojačala).

Način izvođenja pojačala ovisi o ovim zahtjevima: potrebnom pojačanju (struje, napona, snage), veličini ulaznog i izlaznog signala, frekventnom području, ulaznom otporu, području temperature, karakteristici izvora i opterećenja, napajanju, dopuštenom izobličenju, cijeni, veličini itd.

Prema načinu na koji su niskofrekventna pojačala međusobno povezana, razlikujemo pojačala sa *RC-vezom*, pojačala s *transformatorskom vezom* i *direktno vezana* pojačala. Promotrit ćemo posebno pojačalo malih signala, a posebno pojačalo velikih signala, tj. pojačalo snage. Ta je podjela važna, budući da o veličini pobudnog signala ovisi način određivanja radne tačke, kao i mjere za provođenje njene stabilizacije.

51. — Osnovni uvjeti koje pojačala malih signala moraju da ispunjavaju su ovi:

— Pobudni signal mora da bude dovoljno malen, tako da unutar frekventnog područja za koje je pojačalo predviđeno ne nastaje izobličeni tj. da zakrivljenost karakteristike ne dolazi do izražaja, pa se takvo pojačalo može smatrati linearnim elementom.

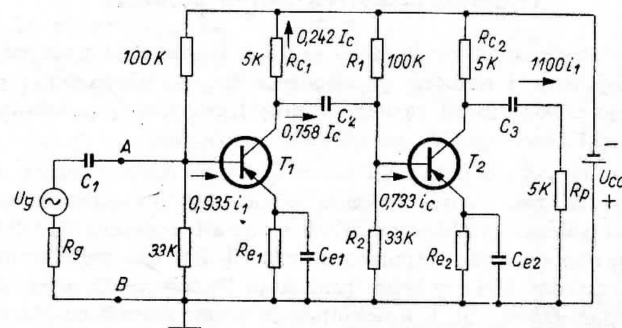
— Gornja granična frekvencija signala, koji će još biti pojačan, treba da je dovoljno niska, kako bismo mogli koristiti nadomjesne sheme sa h-parametrima i T-parametrima.

— Izlazna snaga tih pojačala takva je da svaki stupanj koji se sastoji od jednostepenog pojačala malog signala radi u klasi A, gdje struja mirovanja mora da bude veća od tjemene vrijednosti izmjeničnog signala.

Podaci potrebni za određivanje svojstva pojačala i u tom su slučaju frekventno područje, opteretni otpor, izlazna snaga, veličina ulaznog signala i unutarnji otpor generatora. Ako je traženo pojačanje snage premaleno s obzirom na ono koje daje pojedini stupanj, potrebno je upotrijebiti dva ili više stupnjeva.

52. — Za povezivanje dvaju stupnjeva pojačala malih signala koristimo RC-vezu (sl. 84) ili transformatorsku vezu. U cijevnom pojačalu danas se međustepeni transformator jedva još upotrebljava, budući da je elektronka, na primjer, kao obrtač faze za protufazni izlazni stupanj jeftinija i ima bolje karakteristike. U tranzistoru je u tom slučaju moguće postići veliko pojačanje, pa je radi pobudnog transformatora upotreba manjeg pogonskog tranzistora česta.

U tranzistorskim pojačalima potrebno je, naime, izvršiti prilagođenje impedancije između stupnjeva, tj. postići prilagođenje malog ulaznog otpora slijedećeg stupnja na prethodni stupanj, što se postiže samo transformatorskom vezom. U niskofrekventnim pretpojačalima najčešće se, međutim, upotrebljava *RC*-veza, unatoč tome što se s njom ne dobiva maksimalno prilagođenje kao s transformatorom koji kao element veze ima i izvjesne nedostatke. Uspoređujući ga sa *RC*-spojem,



Slika 84.
Dvostepeno niskofrekventno *RC*-vezano pojačalo malih signala

transformator dobre kvalitete relativno je skup, težak i zbog velikih dimenzija zauzima veći prostor, što je za tranzistorske uređaje naročito nepogodno, a osim toga unosi u pojačalo linearno i nelinearno izobličenje. Transformator kao element veze nije pogodan za šire frekventno područje, jer za pojačanje niskih frekvencija mora da ima visok primarni induktivitet. Donja granična frekvencija transformatora, kod koje napon padne za $1/\sqrt{2}$-ti dio prema naponu frekvencije od 1000 Hz, izražena je jednadžbom

$$f_d = \frac{1}{2\pi L_1} \cdot \frac{R_i \cdot R_p \cdot n^2}{R_i + R_p\, n^2}$$

gdje je R_i unutarnji otpor tranzistora, R_p opteretni otpor, n prijenosni odnos zavoja (z_1/z_2), a L_1 primarni induktivitet. U slučaju prilagođenja uz $R_p = \frac{1}{n^2} R_i$ dobivamo za L_1

$$L_1 = \frac{1}{4\pi f_d} \cdot R_i$$

Neka je, na primjer, izlazni otpor tranzistora 12 kΩ, a donja granična frekvencija 30 Hz. U tom je slučaju $L_1 = 32$ H. Transformator ovakva induktiviteta bio bi veoma velikih dimenzija u odnosu na elemente tranzistorskog pojačala, a pored toga bi imao i velik vlastiti kapacitet i rasipni induktivitet, koji uzrokuju slabljenje visokih frekvencija. Zbog ovih se razloga transformatori motaju bifilarno.

Bolje prilagođenje RC-vezanog pojačala postiže se povezivanjem stupnja sa zajedničkim emiterom sa stupnjem sa zajedničkim kolektorom. Manje pojačanje RC-vezanih stupnjeva može biti kompenzirano dodavanjem još jednog stupnja. Četverostepeno RC-vezano pojačalo ima otprilike isto pojačanje kao trostepeno pojačalo s transformatorskom vezom.

Otporno niskofrekventno pojačalo

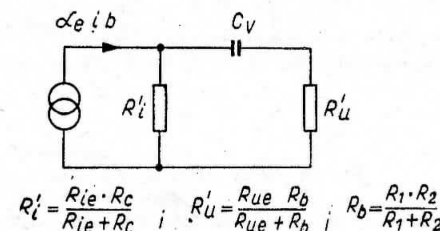
53. — Prema odsjeku 49 jasno je da se s emiterskim spojem postiže najveće pojačanje i najbolje prilagođenje između slijedećeg i prethodnog stupnja. Zbog tih se razloga u niskofrekventnim pojačalima upotrebljava isključivo spoj sa zajedničkim emiterom.

Na sl. 84 vidimo potpunu shemu niskofrekventnog otpornog pojačala. Ovdje se radi o dva stupnja pojačala s uzemljenim emiterom, međusobno povezana RC-spojem. Radna tačka tranzistora T_1 određena je djeliteljem napona baze i otporom u emiteru. Emiterski otpor premošten je kondenzatorom. U krug baze tranzistora T_1, na priključnice A-B, dovodi se izmjenični signal. U kolektorskom krugu nastaje pojačana izmjenična struja, koja se preko veznog kondenzatora C_v prenosi na bazu slijedećeg tranzistora. Radna tačka i ovog tranzistora stabilizirana je djeliteljem napona i otpornikom u emiteru. Kondenzatorom za vezu odjeljuju se različiti naponi U_c i U_{b2}, i kroz njega teče samo izmjenična struja. Otpor za izmjeničnu struju, kojim se opterećuje tranzistor T_1 sastoji se od paralelnog spoja, otpora kolektora R_c, izlaznog otpora tranzistora, ulaznog otpora slijedećeg tranzistora T_2 i paralelne kombinacije R_1 i R_2 ($R_b = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$). Kako vidimo, vrijednost je ovog otpora mala i stoga se može računati približno s ulaznim otporom kratkog spoja R_{ue} i strujnim pojačanjem α_e. Za tranzistor T_2 vrijede isti odnosi. Znači, kolektorska struja prvog tranzistora iznosi približno $i_{c1} = i_{b1} \cdot \alpha_{e1}$ i teče kroz otpore R_i, R_c, R_b i R_u. S obzirom na to da je potrebno postići što veće pojačanje struje i_{b2}/i_{b1}, treba da su R_i, R_c i R_b što veći nasuprot ulaznom otporu R_{ub} tranzistora T_2. U idealnom slučaju čitava bi kolektorska struja tranzistora T_1 tekla u bazu tranzistora T_2, pa bi maksimalno strujno pojačanje bilo jednako faktoru strujnog pojačanja α_{e1}.

54. — Promotrimo na praktičnom primjeru odnose struja. Vrijednosti elemenata unesene u shemu uobičajene su u primjeni. Vrijednost potrošača tranzistora T_2 jest 5 kΩ, ali za izmjeničnu komponentu iznosi 2,5 kΩ, dok je vrijednost njegova ulaznog otpora oko 1,6 kΩ. Otpor za izmjeničnu struju tranzistora T_1, sastavljen od paralelnog spoja kolektorskog otpora 5 kΩ, ulaznog otpora tranzistora T_2 1,6 kΩ i paralelne kombinacije djelitelja napona baze od 100 kΩ i 33 kΩ, iznosi približno 1150 Ω. Međutim samo struja koja teče kroz ulazni otpor od 1,6 kΩ predstavlja korisno prenesenu struju. Pretpostavimo da je veličina faktora strujnog pojačanja $\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = 55$. Na sl. 84 se vidi da 93,5% struje generatora ulazi u bazu tranzistora T_1, 73,30% kolektorske struje prvog tranzistora u bazu tranzistora T_2, a 50% ukupne kolektorske struje teče kroz potrošač, tako da ukupno pojačanje struje iznosi oko 1100. Tako i neprilagođeno pojačalo daje dosta veliko pojačanje oko 35% od teoretskog.

Frekventna karakteristika

55. — U RC-vezanom pojačalu pojačanje se pri nižim frekvencijama smanjuje zbog povećanja kapacitivnog otpora kondenzatora za vezu C_v i emiterskog kondenzatora C_e. Utjecaj veznog kondenzatora možemo vidjeti u nadomjesnoj shemi (sl. 85), izvedenoj na osnovi prijašnjih razmatranja. R_i' je paralelna kombinacija kolektorskog i izlaznog otpora prethodnog tranzistora, a R'_u paralelan spoj ulaznog otpora slijedećeg tranzistora i djelitelja napona baze R_b. U otpornom je pojačalu donja granična frekvencija jednaka frekvenciji kod koje je kapacitivni otpor kondenzatora za vezu jednak ukupnom otporu. Prema tome se mora zahtijevati da za najnižu prenesenu frekvenciju* C_v bude



Slika 85.
Nadomjesna shema pojačala vezanog RC-članom

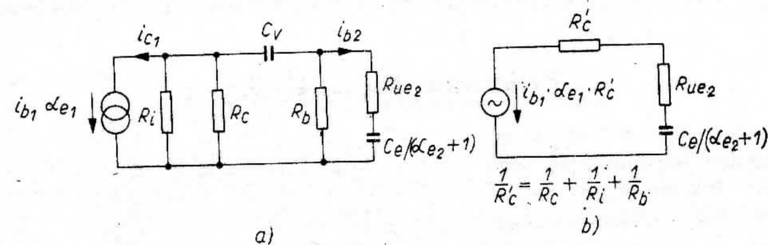
$$\boxed{C_v = \frac{1}{2\pi f_d \, (R_i' + R_u')}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

U pojačalima se mnogo upotrebljavaju tranzistori OC 70 i OC 71. Izračunat ćemo vrijednost veznog kapaciteta takvog sklopa. Radna tačka tranzistora OC 70 određena je sa $I_c = -1$ mA i $U_c = -2$V, a za tranzistor OC 71 sa $I_c = -3$ mA i $U_c = -2$V. U toj je tački ulazni otpor tranzistora OC 71 $R_{u2} = 0{,}8$ kΩ, a $\alpha_e = 47$. Za otpornike su pretpostavljene ove vrijednosti: $R_c = 5{,}6$ kΩ i $R_b = 10$ kΩ. Uz te vrijednosti i donju graničnu frekvenciju od 30 Hz vezni kapacitet mora da bude $C_v = 1$ μF.

56. — Zapostavljanje niskih frekvencija može biti prouzrokovano i premalenim emiterskim kondenzatorom C_e. Emiterskim otporom teče naime, osim istosmjerne, i izmjenična struja koja stvara na njemu izmjenični pad napona, što djeluje protiv napona signala i smanjuje napon baze. Radi se dakle o strujnoj negativnoj reakciji. Nadomjesna shema, (sl. 86a), pokazuje utjecaj emiterskog kondenzatora. Ulazni otpor tranzi-

* Ako pojačalo ima više steupnjeva, za donju graničnu frekvenciju vrijedi formula $\omega_d = \dfrac{\omega_1}{\sqrt{2^{1/n} - 1}} \cong 1{,}2\, \omega_1 \sqrt{n}$, gdje je ω_1 donja granična frekvencija jednog stupnja, a n broj stupnjeva.

stora T_2 spojen je serijski s emiterskim kapacitetom umanjenim za iznos $(\alpha_{e2}+1)$, dakle $C_e/(\alpha_{e2}+1)$, što je i tačno, jer kroz njega teče struja baze i_{b2} koja stvara isti pad napona kao i struja emitera I_{e2} na kondenzatoru C_e.



Slika 86.
Nadomjesna shema *RC*-vezanog pojačala sa otporom i kondenzatorom u emiteru
a) potpuna shema, b) izostavljen vezni kondenzator C_v

zatoru C_e. Nadomjesnu shemu možemo pojednostavniti ako za vezni kapacitet uzmemo veću vrijednost, (sl. 86b). U tom slučaju nije donja granična frekvencija određena veznim kondenzatorom, već samo emiterskim kondenzatorom, čiju veličinu dobivamo iz formule

$$C_e = \frac{(\alpha_{e2}+1)}{2\pi f_d (R_c' + R_{ue2})} \quad \ldots\ldots (31)$$

Emiterski kondenzator, koji ima zadatak da odvodi izmjeničnu struju, mora u poređenju sa R_e da ima što manji kapacitivni otpor. Njegova vrijednost iznosi u našem primjeru iz odsjeka 56, 60 μF.

57. — Gornja granična frekvencija otpornog pojačala određena je samim tranzistorom. Vrijednost izlaznog kapaciteta u spoju sa zajedničkom bazom C_{ib} kreće se između 10 pF i 50 pF, dok je u spoju sa zajedničkim emiterom veća i iznosi od 200 pF do 2000 pF, naime $C_{ie} = C_{ib}/1-\alpha_b$. Budući da je emiterski otpor r_e vrlo malen, taj kapacitet u stvari premoštava potrošač, pa će pojačanje pasti za 3db, odnosno za $1/\sqrt{2}$-ti dio od strujnog pojačanja u srednjefrekventnom području (1000 Hz), kada je

$$\frac{1-\alpha_b}{2\pi f_g C_{ib}} = R_p$$

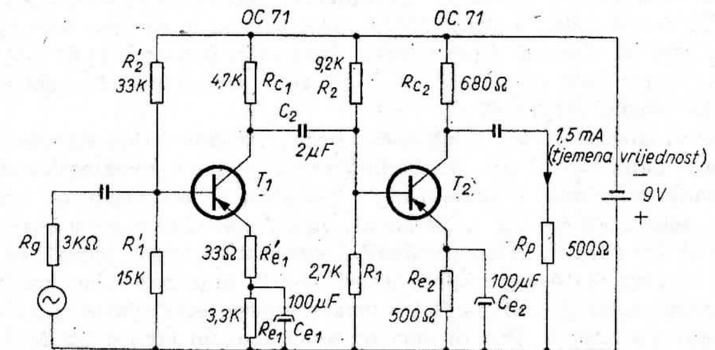
Kako tranzistor u našem slučaju radi skoro sa strujnom uzbudom, kratkospojenim izlazom, možemo računati sa α_f, tj. faktorom strujnog pojačanja sa gornjom graničnom frekvencijom danom u tvorničkim podacima. Nadalje s povišenjem frekvencije pada i faktor strujnog pojačanja.

58. — Da bismo bolje prikazali faktore opisane u prijašnjim odsjecima, proračunat ćemo i proučiti način konstrukcije jednostavnog tranzistorskog pojačala malog signala (sl. 87).

Frekventno područje takvog pojačala treba da je od 50 Hz do 15 kHz, ulazni otpor 3 kΩ, tjemena vrijednost ulaznog napona 6 mV, uz

zanemarivi unutarnji otpor generatora, potrošač 500 Ω, tjemena vrijednost napona na potrošaču 0,75 V i napon baterije 9 V.

Odaberimo otporno pojačalo! Broj stupnjeva dobit ćemo iz vršnih vrijednosti struja i napona. Izmjenična struja koja teče kroz potrošač treba da je, dakle, 1,5 mA. Dopuštajući gubitke 40% do 50%, kolektorska struja tranzistora iznosit će 2,5 mA do 3 mA. Ako je faktor strujnog pojačanja $\alpha_e \simeq 50$, struja baze iznosi 50 μA do 60 μA. Budući da generator stvara na opteretnom otporu od 3 kΩ struju jačine 2 μA, moramo dodati još jedan stupanj pojačanja. Uz pretpostavku da je stupanj djelovanja 50%, kolektorska struja treba da bude između 100 μA i 120 μA, što znači da taj stupanj može raditi s malom strujom mirovanja. Upotrijebimo tran-



Slika 87.
Predpojačalo sa tranzistorima OC 71

zistore OC 71 za oba stupnja pojačala. Ukupna struja kolektora tranzistora T_2 iznosi približno 3 mA, pa struja mirovanja tog stupnja mora da bude veća od tjemene vrijednosti izmjenične struje. Uzmimo da ona iznosi 4 mA. Maksimalno pojačanje struje može se u tom slučaju postići uz uvjet $R_{c2} = R_p\sqrt{2}$, što se može i računski dokazati. U našem slučaju R_{c2} treba da iznosi oko 700 Ω, pa je najbliža odabrana normirana vrijednost 680 Ω. Struja jačine 4 mA, koja teče kroz kolektorski otpor R_{c2}, izaziva na njemu pad napona približno —2,7 V, tako da je sada kolektorski napon —6,3 V. Stabilizacija radne tačke provedena je djeliteljem napona baze i otporom u emiteru prema kriteriju u odsjeku 38. Pad napona neka je $R_e I_e = 2$ V. Otpor R_e, izračunat iz tog uvjeta, iznosi 500 Ω, a vrijednost kolektorskog napona sada je —4,3 V. Radni pravac ucrtan u izlaznim karakteristikama pokazuje da li je radna tačka A dobro izabrana. Otpor izmjenične struje, sastavljen od paralelnog spoja otpora R_p i R_{c2}, iznosi 290 Ω i prolazi istom radnom tačkom. Da bi potrošačem tekla struja jačine 1,5 mA, ukupna struja kolektora mora da varira između $\pm$ 2,6 mA. U našem je primjeru tjemena vrijednost struje kolektora manja od vrijednosti struje mirovanja, a tjemena vrijednost kolektorskog napona ne prelazi u područje napona zasićenja, dakle radna

je tačka dobro odabrana. Kad ne bi bili ispunjeni ovi zahtjevi morala bi se odabrati nova radna tačka ili drugi radni pravac. Otpori djelitelja napona dimenzionirani su prema načinu opisanom u odsjeku 38. i njihove već odabrane, normirane vrijednosti iznose $R_1 = 2{,}7\ k\Omega$ i $R_2 = 9{,}2\ k\Omega$.

Otpori R_1 i R_2 spojeni su za izmjenični signal paralelno i premoštavaju sa 2,12 kΩ ulaz tranzistora T_2. Prema tvorničkim podacima koji su dani uz struju 3 mA, vrijednost ulaznog otpora h_{11e} iznosi za tranzistor OC 71 800 Ω. Vrijednosti ulaznih otpora za struje drugih veličina daje proizvođač u dijagramu, ili se dobivaju iz karakteristika. Uz struju 4 mA vrijednost ulaznog otpora iznosi 640 Ω. U stvari ulazni je otpor uglavnom obrnuto proporcionalan emiterskoj struji. Kako je vrijednost izmjeničnog otpora mala prema vrijednosti istosmjernog otpora, možemo računati sa h_{11e}. Uz $\alpha_e = 50$ izlazna struja od 2,6 mA izazvana je strujom baze jačine 52 μA, koja na ulaznom otporu stvara izmjenični pad napona 33 mV. Dodajući struji baze struju 15 μA koja teče kroz otpor R_b, dobivamo ukupnu ulaznu struju 67 μA.

Prvi stupanj izvodi se na sličan način. Ukupna struja signala mora da bude najmanje 67 μA. Odaberimo za taj stupanj kolektorsku struju mirovanja od 1 mA! Emiterski otpor potreban za temperaturnu stabilizaciju neka bude 3,3 kΩ, a izračunati otpori djelitelja napona baze jesu $R_1 = 15\ k\Omega$ i $R_2 = 33\ k\Omega$. Izmjenični kolektorski napon jednak je ulaznom naponu slijedećeg stupnja, znači 33 mV. Mali napon na kolektoru omogućuje upotrebu velikog kolektorskog otpora, bez bojazni da se dođe do napona zasićenja. Pad napona na kolektorskom otporu bit će 9 V — 3,3 V — 0,5 V = 5,2 V, gdje je 0,5 V napon zasićenja, a 3,3 V pad napona na emiterskom otporu. Odatle izlazi da je vrijednost kolektorskog otpora $R_{c1} = 5{,}2\ k\Omega$, a odabrana normirana vrijednost jest 4,7 kΩ. Ulazni otpor tranzistora T_1, koji iznosi 1600 Ω, moramo povisiti kako je traženo, na 3000 Ω. To se može postići dodavanjem serijskog otpora, ili još bolje stavljanjem nepremoštenog emiterskog otpora. Formula kojom se može približno izračunati ulazni otpor u ovom slučaju glasi

$$\boxed{R_u' = h_{11e} + (1 + \alpha_e)\, R_{e1}'} \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (32)$$

gdje je R'_u povećani ulazni otpor, a R'_{e1} dio nepremoštenog emiterskog otpora.

Prema formuli dobijemo da se uz $R'_{e1} = 33\ \Omega$ *ulazni otpor* R'_u poveća na 3 kΩ.

Vezne kondenzatore dimenzionirat ćemo prema odsjeku 55. Na primjer, za donju graničnu frekvenciju 20 Hz bit će $C_2 = 1{,}5\ \mu F$, a emiterski kondenzator $C_e = 100\ \mu F$.

Pri konstrukciji pojačala treba da računamo s najnepovoljnijim stanjem (temperatura, odstupanje karakteristika, itd.), da bismo osigurali tražene zahtjeve.

59. — Na kraju navedimo nekoliko formula pomoću kojih se može proračunati stupanj pojačala, koristeći *h*-parametre i *T*-parametre.

Tablica 2

	zajednički emiter	zajednička baza	zajednički kolektor
Pojačanje napona V_u	$\dfrac{\alpha_b R_p}{r_e + r_b (1 - \alpha_b)}$	$\dfrac{\alpha_b R_p}{r_e + r_b (1 - \alpha_b)}$	1
Pojačanje struje V_i	$\dfrac{\alpha_b}{1 - \alpha_b} = \alpha_e$	α_b	$\dfrac{1}{1 - \alpha_b}$
Pojačanje snage V_s	$\dfrac{\alpha_b^2 R_p}{(1 - \alpha_b)\,[r_e + r_b (1 - \alpha_b)]}$	$\dfrac{\alpha_b^2 R_p}{r_e + r_b (1 - \alpha_b)}$	$\dfrac{1}{1 - \alpha_b}$
Ulazni otpor R_u	$\dfrac{r_b (1 - \alpha_b) + r_e}{1 - \alpha_b}$	$r_e + r_b (1 - \alpha_b)$	$\dfrac{R_p}{1 - \alpha_b}$
Izlazni otpor R_i	$\dfrac{R_g r_c (1 - \alpha_b) + r_e r_c}{R_g + r_b + r_e}$	$\dfrac{r_c [R_g + r_b (1 - \alpha_b) + r_e]}{R_g + r_b + r_e}$	$r_e + (1 - \alpha_b)(R_g + r_b)$

Približne formule za izračunavanje veličina tranzistora pomoću T parametara

Približne formule označene u tablici izvedene iz kompletnih formula mnogo su jednostavnije i dovoljno tačne za praksu. Pri njihovom izvođenju predpostavljeno je da je $r_c \gg r_b$, $r_c \gg R_p$, $R_c (1 - \alpha_b) \gg R_p$. Da je to tačno možemo vidjeti ako uzmemo izmjerene parametre jednog tipičnog tranzistora: $r_b = 500\ \Omega$, $r_e = 30\ \Omega$, $r_c = 1{,}5\ M\Omega$ i $\alpha = 0{,}98$.

Pojačanje struje: $V_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22} R_p}$

Pojačanje napona: $V_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21} R_p}{h_{11} + \Delta h \cdot R_p}$

Pojačanje snage: $V_s = V_i \cdot V_u = \frac{h_{21}^2 R_p}{(1 + h_{22} R_p)(h_{11} + \Delta h R_p)}$

Ulazni otpor: $R_u = \frac{u_1}{i_1} = \frac{h_{11} + \Delta h R_p}{1 + h_{22} R_p}$

Izlazni otpor: $R_i = \frac{u_2}{i_2} = \frac{h_{11} + R_g}{\Delta h + h_{22} R_g}$

Pri tome je $\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$, a R_p i R_g su otpor potrošača i otpor generatora.

Vrijednost otpora R_p za optimalno pojačanje snage iznosi

$$R_p = \sqrt{\frac{h_{22} \Delta h}{h_{11}}}$$

Ove formule vrijede samo za pojačala malih signala, a mogu se koristiti jedino ako su poznati parametri u radnoj tački. Pri izračunavanju navedenih vrijednosti svejedno je radi li se o spoju sa zajedničkom bazom, emiterom ili kolektorom, jedino je potrebno uvrstiti odgovarajuće parametre. U tablici 2 dane su približne formule prema kojima se mogu izračunati karakteristične veličine pojačala sa T-parametrima.

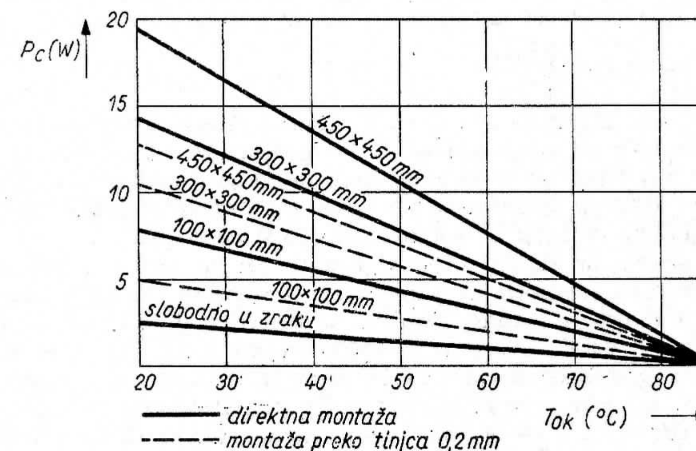
Niskofrekventna izlazna pojačala

60. — Zadatak je dosada opisanih pojačala da male izmjenične signale pojačaju na vrijednost dovoljnu za pobuđivanje pojačala velikog signala — izlaznog pojačala — koje mora davati određenu snagu potrošaču.

Kod pojačala malih signala težili smo za što većim pojačanjem struje ili napona, dok se u izlaznim pojačalima mora postići što veća izlazna snaga, uz najbolji stupanj djelovanja. Osnovna su ograničenja u dobivanju snage maksimalni dopustivi gubici kolektora, maksimalna struja, maksimalan napon, napon zasićenja i preostala struja kolektora.

Maksimalna disipacija određena je hiperbolom snage ucrtane u polju izlaznih karakteristika, koja vrijedi samo za jednu određenu temperaturu spoja kolektor-baza. Disipacija ovisi o uvjetima u kojima će tranzistor biti upotrebljen. Odvođenje topline iz spoja kolektor-baza mora da bude provedeno u svim vrstama tranzistora, ali se posebna pažnja tome mora posvetiti kod izlaznih tranzistora. Neke posebne mjere u tu svrhu, ako se radi o tranzistorima male snage (do 200 mW), nije potrebno provoditi. Tranzistori većih snaga (iznad 500 mW) imaju međutim krilca za hlađenje, ili su pričvršćeni na metalne ploče, kako bi se poboljšali uvjeti odvođenja topline. Ako tranzistor treba da bude izoliran od metalne ploče stavlja se između njih pločica tinjca, iako je u tom slučaju zbog povećanja termičkog otpora odvođenje topline nešto lošije.

Za tranzistore većih snaga proizvođač daje dijagram, (sl. 88), u kojem se vidi ovisnost maksimalno dopustivih gubitaka kolektora o rashladnim površinama aluminijskih pločica. Pune linije vrijede za direktnu montažu, a crtkane kod izolacije pločicom tinjca debljine 0,2 mm.



Slika 88.
Ovisnost maksimalno dozvoljenih gubitaka kolektora o temperaturi okoline uz razne rashladne površine za tranzistor 2N257. Debljina aluminijskog lima 2 mm

I maksimalni kolektorski napon predstavlja ograničenje, jer iznad njegove vrijednosti struja kolektora naglo poraste, što dovodi do uništenja tranzistora. Povećanje struje iznad $I_{c\,max}$ ograničeno je, budući da se pri velikim strujama strujno pojačanje smanjuje. Napon zasićenja ograničuje područje pobuđivanja pri velikim strujama i malim naponima, dok preostala struja kolektora predstavlja ograničenje pri malim strujama.

A-pojačalo

61. — Izlazno pojačalo sa jednim tranzistorom treba da radi u klasi A. Položaj radne tačke može se dobiti pomoću kolektorskih karakteristika kada su poznati maksimalni gubici kolektora, maksimalna kolektorska struja i maksimalan kolektorski napon. Radna tačka treba da se odabere na hiperboli snage, tako da istosmjerni napon kolektora bude jednak polovici maksimadnog inverznog napona kolektora ili manji od njega. Nagib pravca položenog tako odabranom tačkom označuje dinamički otpor pojačala, a povučen je tako da ga tačka dijeli na dvije

jednake polovine. I uz maksimalnu pobudu kolektorski napon ne smije prijeći napon zasićenja, niti smije kolektorska struja pasti ispod preostale struje kolektora. Najveći mogući stupanj djelovanja takvog pojačala jeste 50%, ali zbog gubitaka u transformatoru, napona zasićenja U_{ceo} i preostale struje kolektora I_{ceo} iznosi 25% do 48%. Dinamički otpor, određen sa $R_d = \frac{U_{cm}}{I_{cm}}$, gdje su U_{cm} i I_{cm} tjemene vrijednosti kolektorskog napona i kolektorske struje, u stvari je otpor potrošača R_p preslikan na primarnu stranu transformatora, čiji je prijenosni odnos $n = \sqrt{\frac{R_d}{R_p}}$.

62. — U izlaznim stupnjevima s jednim tranzistorom struja emitera znatno je veća od struje emitera u pretpojačalima, na primjer 20 mA prema 1 mA. Stoga se u emiterski krug ne smije staviti prevelik otpor, da ne bi došlo do gubitaka u pojačanju (od 1000 Ω — koliko iznosi u pretpojačalima — smije se staviti svega 20 Ω do 30 Ω).

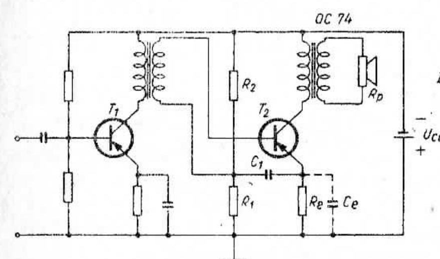
U sklopu na sl. 89. to je izbjegnuto, jer je sekundar pobudnog transformatora uzemljen za izmjeničnu komponentu preko kondenzatora C_1 i spojen na emiter, tako da su izbjegnuti gubici pojačanja na emiterskom otporu i otporima djelitelja napona baze. Ovi su otpori u stvari dio opteretnog otpora izlaznog stupnja. Ovaj se način može primjenjivati sve dok je otpor emitera malen prema otporu potrošača. Ako to nije slučaj, onda se R_e premoštava kondenzatorom koji ne djeluje na donju graničnu frekvenciju, već samo smanjuje opteretni otpor. Kondenzator se tako dimenzionira da je njegov kapacitivni otpor na donjoj graničnoj frekvenciji manji od otpora potrošača.

Frekventno područje takva pojačala ovisi na niskim frekvencijama o induktivitetu transformatora i njemu priključenim otporima. Uz pravilno izvedeno prilagođenje induktivitet sekundara tako je dimenzioniran, da je njegov induktivni otpor pri donjoj graničnoj frekvenciji jednak otporu potrošača. Teče li kroz transformator istosmjerna struja, on mora da ima zračni raspor. Uz više frekvencije frekventnu karakteristiku ne određuje samo tranzistor, već i rasipni induktivitet transformatora. Da se taj utjecaj ublaži, oba su sekundarna namotaja motana bifilarno.

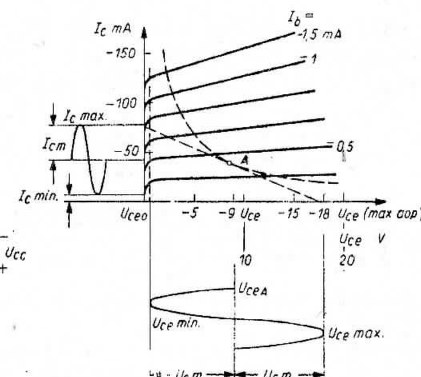
63. — Za primjer proračuna stupnja pojačala uzet ćemo sklop na sl 89, gdje je upotrebljen izlazni tranzistor OC 74, čije su izlazne karakteristike prikazane na sl. 90. Prema tvorničkim podacima maksimalni dopušteni kolektorski gubici jesu $N_{c\,max} = 330$ mW, maksimalna temperatura spoja uz te gubitke $T_{os} = 75^0$ C, toplinski otpor K = 0,09° C/mW, maksimalna temperatura okoline $T_{ok} = 45^0$ C, a napon napajanja neka bude 9 V.

Istosmjerni radni pravac određen je naponom baterije 9 V i otporom* za istosmjernu struju koji iznosi 15 Ω. Za maksimalnu izlaznu snagu radna tačka treba da leži na hiperboli snage. Ta je tačka određena

* Otpor za istosmjernu struju sastoji se od $R_e = 10\,\Omega$ otpora u emiteru i $R_e = 5\,\Omega$ omskog otpora namotaja transformatora.



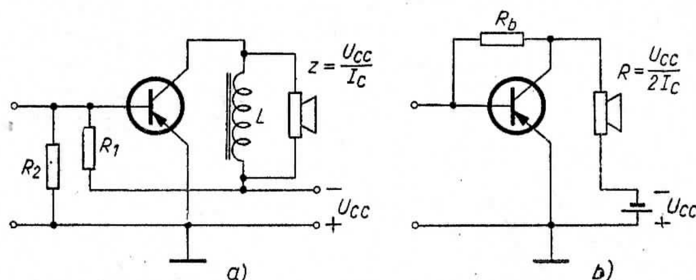
Slika 89.
Izlazno A-pojačalo



Slika 90.
Dimenzioniranje izlaznog stupnja sa tranzistorom OC 74 vrši se pomoću prikazanih izlaznih karakteristika

naponom kolektora $U_c = -8{,}7$ V i strujom $I_c = -36$ mA. Tangenta položena na hiperbolu snage u radnoj tački predstavlja otpor potrošača preslikanog na primarnu stranu, pa je $R_d = \frac{U_{cm}}{I_{cm}} \simeq 240\,\Omega$. Ukoliko je potrošač zvučnik impedancije 5 Ω, prijenosni odnos transformatora iznosi $n = \sqrt{\frac{240}{5}} \simeq 7$. U našem je slučaju $U_{ce\,max} - U_{ceA} = U_{ceA} - U_{ceo}$, odnosno $U_{ce\,max} = 2\,U_{cm} - U_{ceo}$ dok je zanemarivši preostalu struju kolektora, $I_{c\,max} - I_{c\,min} = I_{c\,max} - I_{ceo} = 2\,I_{cm}$. Uz $U_{ceo} = -0{,}3$ V maksimalni je kolektorski napon $U_{ce\,max} = 17{,}1$ V, a struja kolektora $I_{c\,max} = 72$ mA. Granične vrijednosti ovih veličina jesu 20 V i 300 mA, dakle dobivene se vrijednosti nalaze u dopuštenim granicama. Korisna izlazna snaga pri punoj pobudi iznosi $N_k = \frac{U_{cm} \cdot I_{cm}}{2} \simeq 150$ mW. Kako je istosmjerna snaga $N_{cc} = U_{cc} \cdot I_c = 325$ mW, stupanj djelovanja pri punoj pobudi jest $\eta = \frac{N_{k\,max}}{N_{cc}} = 46{,}5\%$, što je vrlo blizu idealnom stupnju djelovanja.

64. — Bolji stupanj djelovanja možemo postići upotrijebimo li umjesto transformatora prigušnicu s visokoomskim zvučnikom, (sl. 91a), gdje gubici nastaju samo u omskom otporu prigušnice, a izbjegnuti su gubici korisne snage u transformatoru. Najpovoljniji je slučaj uz impedanciju zvučnika U_{cc}/I_c. Slijedeća varijanta izlaznog pojačala prikazana je spojem na sl. 91b, u kojem se zvučnik nalazi direktno u kolektorskom krugu. Zvučnik upotrebljen u tu svrhu treba da zbog temperaturne stabilizacije ima takav omski otpor da je pad napona na njemu jednak tačno polovici napona baterije. Ispravno prilagođenje postiže se uz impedanciju zvučnika $U_{cc}/2I_c$. Iako je stupanj djelovanja u tom spoju malen, svega 25%, ipak on ima izvjesne prednosti: dobru temperaturnu stabilizaciju i, zbog ispuštenog transformatora, bolju frekventnu karakteristiku.

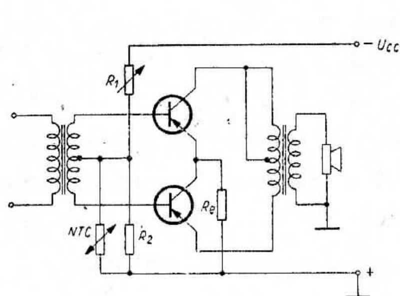


Slika 91.
Načini priključivanja zvučnika a) prigušnice i visokoomski zvučnik b) visokoomski zvučnik

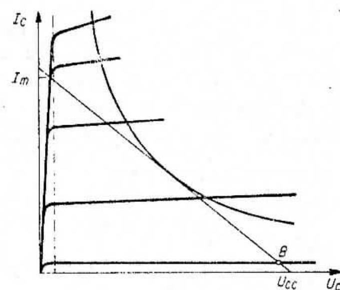
B-pojačalo

65. — Najviše upotrebljavani spoj u izlaznim stupnjevima s tranzistorima jest protufazno B-pojačalo.

Primjena B-pojačala u izlaznim stupnjevima ima slične prednosti kao kod elektronskih cijevi: veći stupanj djelovanja nego u klasi A, znatno veću korisnu snagu, te neznatno opterećenje izvora napajanja u slučaju kada nema signala, što je upravo kod prijenosnih uređaja od izvanredna značenja. Pri analizi takva spoja obično se promatra samo jedan tranzistor, budući da oba rade u istim uvjetima. Takav stupanj s transformatorskom vezom, prikazan na sl. 92, ima veoma veliku pri-



Slika 92.
Protufazni izlazni stupanj



Slika 93.
Položaj radne točke pojačala u B - klasi

mjenu. Istosmjerni naponi kolektora, dobiveni preko srednjeg izvoda transformatora, gotovo su jednaki naponu baterije, jer u kvalitetnim transformatorima možemo zanemariti omski otpor namotaja. Na sl. 93 prikazana je radna tačka tranzistora u klasi *B*. Otpor za izmjeničnu struju između kolektora iznosi $R_{cc} = 4\,R_d$*, jer svaki tranzistor djeluje na polovinu primarnog namotaja samo za vrijeme jedne poluperiode.

* R_d je dinamički otpor u kolektorskom krugu $R_d = \frac{R_p}{4n^2}$, gdje je R_p otpor potrošača, a *n* prijenosni odnos transformatora.

Maksimalna izlazna snaga koja se može postići tranzistorima određena tipa ograničena je, kao i u A-pojačalu, dopuštenim kolektorskim naponom i strujom, gubicima snage i dopuštenim izobličenjima, a dana je formulom

$$N_k = \frac{U_{cc}^2}{2\,R_d} = \frac{U_{cm}\cdot I_{cm}}{2} \quad \ldots\ldots \quad (33)$$

Najveći izmjenični napon kolektora nastaje pri punoj pobudi i približno je jednak dvostrukom iznosu napona izvora. Time je i napon baterije ograničen prema gore.

Tjemena vrijednost struje ovisna je o veličini otpora potrošača R_d, a iznosi $i_{cm} = \frac{U_{cm}}{R_d}$, gdje je $U_{cm} = U_{cc} - U_{ceo}$ tjemena vrijednost izmjeničnog napona koji vlada na pojedinom tranzistoru, uz dopušteno izobličenje. Ako je dopuštena struja kolektora označena sa $I_{c\,max}$, mora R_d da bude veći od $\frac{U_{cc}}{I_{c\,max}}$. Pri maksimalnoj vrijednosti pobude istosmjerna snaga dobivena iz baterije jednaka je produktu napona napajanja i srednje vrijednosti struje obaju tranzistora

$$N_{cc} = 2\,U_{cm}\,\frac{I_{cm}}{\pi} = U_{cc}\,\frac{I_{cm}}{\pi} \quad \ldots \quad (34)$$

gdje je $\frac{I_{cm}}{\pi}$ srednja vrijednost kolektorske struje. Stupanj djelovanja* dan odnosom tih snaga sada iznosi $\eta = \frac{N_k}{N_{cc}} = \frac{\pi}{4} = 0{,}78$ ili 78%, a nešto je manji, budući da nisu uzeti u obzir U_{ceo} i I_{ceo}, te gubici koji nastaju u elementima za stabilizaciju.

Gubici u tranzistoru mijenjaju se sa stupnjem pobude i najveći su uz $m = 0{,}65$. Korisna snaga N_k, istosmjerna privedena snaga N_{cc} i stupanj djelovanja η dani su formulama

$$P_k = \frac{1}{2}\,m^2\,U_{cm}\cdot I_{cem}$$

$$N_{cc} = (-U_{ce})\,(-I_c) + \frac{2}{\pi}\cdot m\,[(-I_{c\,max}) - (-I_c)\cdot(-U_{cc})]$$

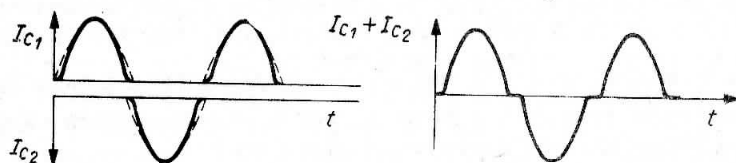
$$\eta = \frac{N_k}{N_{cc}} \approx \frac{\pi}{4}\cdot\frac{m\cdot U_{cm}}{(-U_{ce})}$$

66. — Otpor R_1 predstavlja, zajedno s otporom R_2, djelitelj napona baze promjenljiv je i njime je moguće mijenjati kolektorsku struju mirovanja. R_e služi i ovdje za stabilizaciju radne tačke. Otpor u krugu emitera ne smije se premostiti kondenzatorom, jer bi zbog nabijanja kondenzatora došlo do pomicanja radne tačke, što bi dovelo do izobličenja signala. Razlozi su u tome što je ulazni krug B-pojačala zapravo poluvalni ispravljač koji na otporu R_e stvara istosmjeran pad napona.

* Uzimajući u obzir U_{ceo} i I_{ceo} $\eta = \frac{\pi}{4}\left(1 - \frac{U_{ceo}}{U_{cc}}\right)$

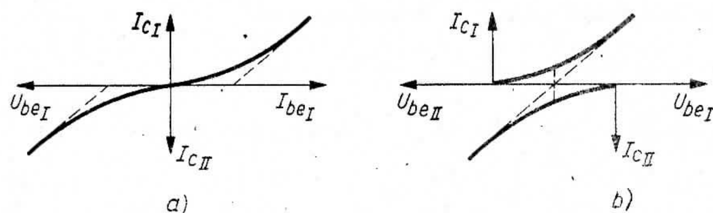
Ako je spojen kondenzator C_e, on će se nabiti na napon koji je jednak tjemenoj vrijednosti signala, pa će radna tačka pasti u C-klasu, gdje su velika izobličenja. Zbog toga se otpor R_e ne može premostiti kondenzatorom, a budući da na njemu nastaju gubici snage, njegova vrijednost, ukoliko se ne može izostaviti, mora da bude što manja. Stoga je dobru stabilizaciju moguće postići samo umetanjem NTC-otpornika u djelitelj napona baze (odsjek 41).

67. — U izlaznim B-pojačalima lako nastaju znatna nelinearna izobličenja. Čisto B-pojačalo, ako bi radilo linearno, pojačavalo bi tačno jedan poluval signala. To međutim nije slučaj. Izobličenje koje može nastati radi li pojačalo uz struju $i_c = 0$ ($U_b = 0$), prikazano na sl. 94,



Slika 94.
Izobličenje nastalo zbog nelinearnih ulaznih karakteristika tranzistora.

uzrokovano je nelinearnim ulaznim karakteristikama tranzistora u emiterskom spoju. Pri malim signalima postaje ulazni otpor tako velik da gotovo ne teče pobudna struja, dakle ni struja kolektora. Budući da tranzistor sada radi s naponskom pobudom (vidi odsjek 70), nastat će i izobličenja koja se u takvim slučajevima pojavljuju. Ona se mogu smanjiti postavljanjem pojačala u AB-klasu, gdje teče mala struja mirovanja. Sl. 95 pokazuje sastavljanje prijenosnih karakteristika tranzistora I i II u stvarnu radnu karakteristiku. Na sl. 95a dana je ta karakteristika za tranzistor uz struju mirovanja jednaku nuli (čista B-klasa), a sl. 95b prikazuje slučaj kad je napon baze tako odabran da teče mala



Slika 95.
Sastavljanje prijenosnih karakteristika kod protufaznog pojačala a) čisti B-klasa b) AB-klasa; u stanju mirovanja teče mała kolektorska struja

struja mirovanja. Prva ulazna karakteristika jako je zakrivljena u blizini radne tačke, pa nastaju znatna izobličenja, dok je druga, označena crtkano, linearna, pa je izobličenje izbjegnuto. Iz ovog slijedi da u protufaznim B-pojačalima može već pri malim izmjeničnim signalima doći do jakog nelinearnog izobličenja, dok su pri većim izmjeničnim signalima ova izobličenja manja, jer je karakteristika u daljnjem toku linearnija. Ipak i kod većih kolektorskih struja može zbog smanjenja strujnog pojačanja doći do izobličenja. Taj se utjecaj može ublažiti samo negativnom reakcijom.

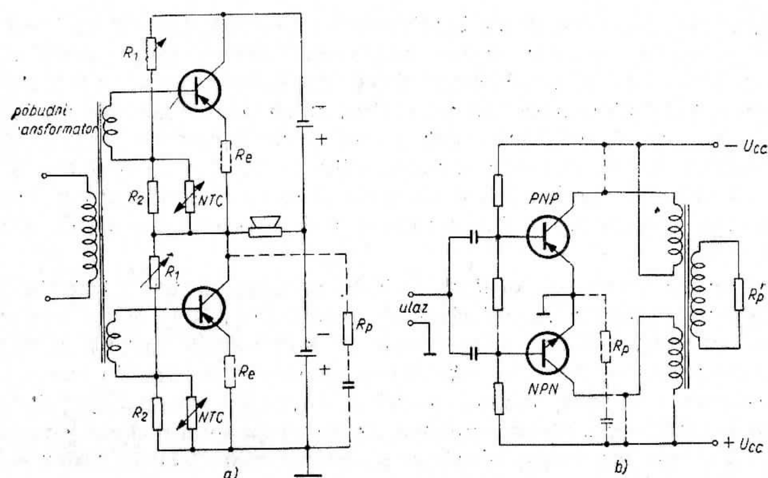
Osim navedenih simetričnih izobličenja mogu nastati i izobličenja uvjetovana različitim karakteristikama tranzistora. Kod malih signala razlog su tome različiti ulazni otpori, a kod velikih različiti faktori strujnog pojačanja. Da se to izbjegne u protufazna B-pojačala stavljaju se tranzistori u paru, kojima su faktori strujnog pojačanja i ulazni otpori pri malim pobudnim signalima, uz iste radne uvjete, skoro jednaki. Veličina struje mirovanja određena je kompromisno između malog potroška i dopuštenog izobličenja, a daje je proizvođač. Za tranzistore 2 × OC 74 ona iznosi 3 do 6 mA.

Uspoređujući sva tri spoja tranzistora može se reći da su u pogledu snage i stupnja djelovanja spoj sa zajedničkom bazom i spoj sa zajedničkim kolektorom približno jednaki. Stupanj s uzemljenom bazom ima, uz jednake uvjete rada, manja izobličenja, a i manje opterećuje izvor napajanja kad nema signala. Najveću primjenu ima ipak, zbog znatno većeg pojačanja snage, stupanj s uzemljenim emiterom.

68. — Zvučnik može biti vezan sa B-pojačalom na nekoliko načina: prigušnicom sa srednjim izvodom i visokoomskim zvučnikom, visokoomskim zvučnikom sa srednjim izvodom (u tom je slučaju i η manji) i direktno u spoju s *protuparalelnim izlaznim pojačalom*. Jedan slučaj protufaznog pojačala dan je u često upotrebljavanom protuparalelnom pojačalu bez izlaznog transformatora (sl. 96). U tom je sklopu zvučnik direktno spojen na pojačalo u zajednički kolektorski krug tranzistora. Za izmjenično stanje tranzistori rade paralelno, dok su za istosmjerni rad spojeni u seriji. Prednost tog sklopa je u tome, što nema prijenosnog elementa, a ujedno istosmjerna struja ne teče kroz potrošač.

Iako napon napajanja ima dvostruku vrijednost prema naponu B-pojačala, ukupna je potrošnja istosmjerne snage ista, budući da kroz tranzistore teče samo pola struje. Otpor potrošača iznosi $\frac{R_d}{4}$, a ukupni stupanj djelovanja nešto je veći nego u direktno spojenom zvučniku.

Ne raspolažemo li baterijom sa srednjim izvodom, možemo potrošač priključiti preko kondenzatora na masu (sl. 96 — crtkana linija). Za izmjenično stanje nije se ništa promijenilo, jer za izmjeničnu komponentu baterija predstavlja kratak spoj. Nezgodna je strana tog sklopa ta što je potrebno provoditi stabilizaciju svakog stupnja posebno.



Slika 96.
a) Protuparalelno protufazno pojačalo bez izlaznog transformatora (PPP-pojačalo), b) Komplementarno izlazno pojačalo klase B; crtkano označeni spoj vrijedi kada nema izlaznog transformatora (u tom slučaju nisu emiteri spojeni na masu)

Komplementarno pojačalo. Postoje dvije vrste tranzistora PNP i NPN tipa. U PNP-tranzistoru nosioci struje su šupljine, dok su u NPN-tranzistoru elektroni; znači u njima teku istosmjerne struje u međusobno suprotnim smjerovima. To omogućuje izvedbu protufaznog B-pojačala u komplementarnom spoju, za čije pobuđivanje nije potrebno imati pobudne signale pomaknute u fazi za 180°. Na sl. 96b prikazan je sklop pojačala s takvim parom tranzistora. Za vrijeme pozitivnog poluvala vodi NPN-tranzistor, jer je dioda emiter—baza u tom slučaju polarizirana u propusnom smjeru, dok PNP-tranzistor ne provodi, jer pozitivni poluval polarizira njegov emiterski spoj u zapornom smjeru. Za vrijeme negativnog poluvala upravo je obrnuto, PNP-tranzistor propušta dok je NPN-tranzistor zakočen.

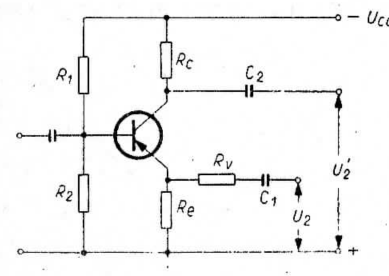
Istosmjerna struja kolektora teče kroz seriiski spoj tranzistora, ali ne teče kroz potrošač.

Nedostatak ovog spoja, što nijedan kraj baterije nije uzemljen može se izbjeći upotrebom baterije sa srednjim izvodom na koju se priključuje potrošač i ta se točka uzemljuje. Ovakvo pojačalo može, kao što se vidi na slici biti izvedeno sa izlaznim ili bez izlaznog transformatora.

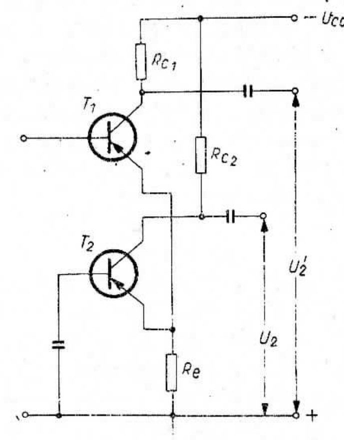
Tranzistorski obrtači faze

69. — Pobuđivanje izlaznog stupnja protufaznog pojačala s tranzistorima postiže se pobudnim stupnjevima koji moraju davati dovoljnu snagu za pobuđivanje tih pojačala i osigurati fazni pomak. Pobuđivanje se može vršiti, što i jest čest slučaj, tranformatorom sa srednjim izvodom. Ovakav je način pogodan ako želimo postići maksimalno pojačanje snage. Frekventna karakteristika u tom slučaju pri nižim frekvencijama određena je samim induktivitetom transformatora. Kako je ulazni otpor tranzistora najveći uz malu pobudu, moramo dakle u proračunu pobudnog transformatora uzeti u obzir ovaj otpor. To znači da induktivitet mora da bude veći nego u A-pojačalu. S obzirom na pobudu, otpor namotaja ne smije biti velik, što bi uz gornji uvjet zahtijevalo veći transformator. Radi smanjivanja utjecaja rasipnih induktiviteta pri visokim frekvencijama, oba su sekundara motana bifilarno.

Međutim, kao i u pojačalima s elektronkama, u izvjesnim su slučajevima tranzistorski obrtači* potisnuli obrtače s transformatorom jer su manji, lakši, jeftiniji i imaju bolju frekventnu karakteristiku. Na sl. 97 prikazan je tranzistorski obrtač faze s jednakim otporima u kolektorskom i emiterskom krugu, koji se često primjenjuje, a sličan je katodinskom obrtaču faze s elektronkama. Jedan napon za pobudu protufaznih tranzistora uzima se s kolektora, a drugi s emitera. Ova dva napona nisu jednaka. Ulazni otpor takova stupnja zbog nepremoštenog otpora



Slika 97.
Obrtač faze sa jednim tranzistorom



Slika 98.
Principijelna shema obrtača faze sa dva tranzistora

R_e veoma je visok. Naime, i uz jednake otpore R_c i R_e signal na otporu R_e bit će nešto veći, zato jer je emiterska struja ($I_c = \alpha_b \cdot I_e$) veća od struje kolektora. Kako je izlazni otpor kolektora veći od izlaznog otpora emitera, potrebno je u krug veze staviti otpor R_v.

U obrtaču faze na sl. 98, izvedenom sa dva tranzistora, ulazni signal privodi se samo na bazu tranzistora T_1. Budući da je emiterski otpor zajednički za oba tranzistora, emiterska struja tranzistora T_1 stvara

* Izlaznim pojačalom iz odsjeka 68 i tranzistorskim obrtačem faze moguće je izvesti pojačalo bez transformatora.

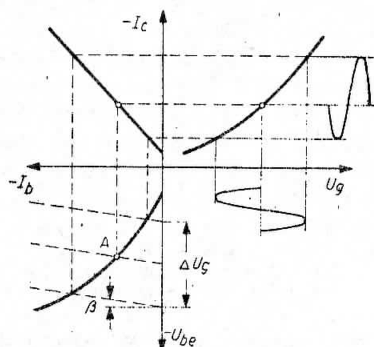
izmjenični pad napona između baze i emitera tranzistora T_2. Signal dobiven na kolektoru tog tranzistora suprotne je faze od napona na kolektoru T_1.

Pobuđivanje tranzistora

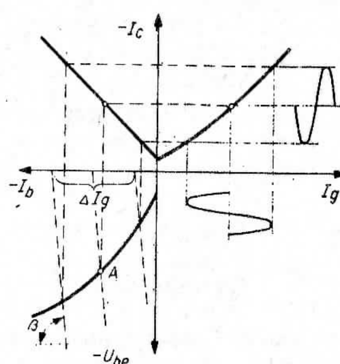
70. — Način pobuđivanja u pojačalu s tranzistorima ima značajnu ulogu. Nasuprot cijevima, tranzistori imaju malen i nelinearan ulazni otpor, pa ga treba uvijek promatrati zajedno s otporom generatora, kako bi se postiglo prilagođenje uz najmanji postotak izobličenja. Postoje dva ekstremna slučaja pobude: *strujna* i *naponska*.

Ako je unutarnji otpor generatora malen prema ulaznom otporu tranzistora, možemo generator smatrati generatorom napona. Naprotiv, ako je unutarnji otpor generatora velik nasuprot ulaznom otporu, govorimo o strujnom generatoru.

Na sl. 99 prikazana je karakteristika tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom, i izabrana radna tačka. Pravac ulaznog dinamičkod otpora generatora $R_g = \text{tg}\beta$, ako je na bazu nametnut izmjenični napon, pomiče se paralelno u ritmu signala oko radne tačke *A*. Kad je unutarnji otpor generatora veoma malen, tranzistor je naponski pobuđivan; pravac radnog otpora skoro je horizontalan. Mijenja li se napon baze za ΔU_g, doći će zbog nelinearnosti ulaznog otpora, kako vidimo na slici, do izobličenja ulazne struje, a budući da je $i_c = \alpha_e \cdot i_b$ nastaje i izobličenje kolektorske struje. Jedino uz veoma malu amplitudu signala ono nije veliko.



Slika 99.
Naponsko pobuđivanje tranzistora



Slika 100.
Strujno pobuđivanje tranzistora

Na sl. 100 prikazan je slučaj generatora s velikim unutarnjim otporom; radni pravac sada je skoro okomit, tranzistor je strujno pobuđivan i struja se generatora mijenja za ΔI_g. Nelinearnost ulaznog otpora ovdje ne dolazi toliko do izražaja i zobličenja su znatno manja. Zato se većinom teži za tim da tranzistor radi sa strujnom pobudom. Međutim i kod strujnog pobuđivanja dolazi do izobličenja, jer je pri većim strujama krivulja strujnog pojačanja zakrivljena, pa nastaje izobličenje izlazne struje. Ova su izobličenja ipak znatno manja nego pri naponskoj pobudi.

Negativna reakcija

71. — Negativna se reakcija primjenjuje u tranzistorskim pojačalima za iste svrhe kao i u cijevnim pojačalima: smanjuje linearna i nelinearna izobličenja, poboljšava stabilitet pojačala, utječe na pojačanje, odnosno smanjenje ulazne i izlazne impedancije i smanjuje promjene koje nastaju zbog različitih karakteristika tranzistora, što je u tranzistorskim uređajima naročito značajno, budući da su odstupanja u karakteristikama tranzistora istog tipa vrlo velika.

Sve ove prednosti nisu međutim postignute bez ustupaka, kao što je na primjer gubitak pojačanja.

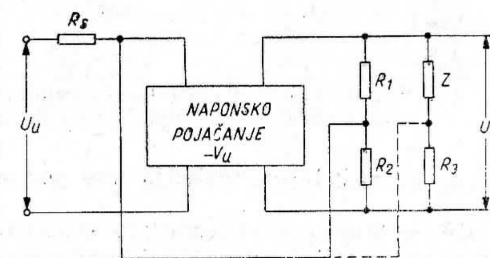
Način djelovanja negativne reakcije na svojstva pojačala znatno ovisi o metodama dobivanja signala negativne reakcije iz izlaza i vraćanja na ulaz.

Navest ćemo osnovne vrste izvođenja negativne reakcije. To su: *naponsko-naponska* negativna reakcija, *naponsko-strujna* negativna reakcija, *strujno-naponska* negativna reakcija i *strujno-strujna* negativna reakcija.

72. — Negativna reakcija može biti dobivena iz izlaza na dva načina:

Napon negativne reakcije U_R proporcionalan je izlaznom naponu U_i; to je *naponska* ili *paralelna* negativna reakcija. Na sl. 101 prikazan je jedan od načina dobivanja napona negativne reakcije U_R pomoću visokoomskog djelitelja napona priključena paralelno na izlaz pojačala. Otpor djelitelja $(R_1 + R_2)$ mora da bude mnogo veći od impedancije potrošača, da bi što manje utjecao na izlazni napon.

— Napon negativne reakcije može biti dobiven i na malom otporu R_3, priključenom u seriju s potrošačem. Proporcionalan je dakle izlaznoj struji; to je *serijska* ili *strujna* negativna reakcija. Taj je spoj prikazan na sl. 101 crtkanom linijom.



Slika 101.
Principijelna shema dobivanja negativne reakcije iz izlaza

I vraćanje napona negativne reakcije U_R na ulaz postiže se na dva načina:

— U jednom su ulazni napon U_u i napon negativne reakcije U_R paralelni; to je *naponsko* ili *paralelno napajana* negativna reakcija. Najjednostavnija izvedba ovakvog sklopa dana je na sl. 102a. Označimo li napon između baze i emitera sa U_{be}, možemo pisati

$$\frac{U_u - U_{be}}{R_s} + \frac{U_R - U_{be}}{R_R} = \frac{U_{be}}{R_u},$$

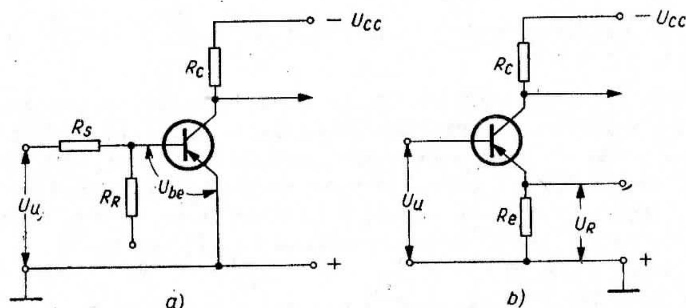
gdje je R_u ulazni otpor pojačala (paralelni spoj ulaznog otpora tranzistora i otpora stabilizacije), pa je dakle

$$U_{be} = \frac{\dfrac{U_u}{R_s} + \dfrac{U_R}{R_R}}{\dfrac{1}{R_s} + \dfrac{1}{R_R} + \dfrac{1}{R_u}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

proporcionalan sumi U_u i U_R, čije pak veličine ovise o otporima R_s, odnosno R_R. Reakcija će biti negativna uz uvjet da su U_u i U_R suprotna smjera.

— Napon negativne reakcije može biti priveden u seriju ulaznom naponu; to je *strujno* ili *serijski napajana* negativna reakcija. Karakterističan primjer pokazuje sl. 102b, gdje su U_u i U_R spojeni serijski, dok između baze i emitera djeluje njihova razlika.

Kombiniranjem ovih načina dobiju se prije navedene metode izvođenja negativne reakcije.



Slika 102.
Načini dovođenja negativne reakcije na ulaz a) paralelno negativna reakcija, b) serijska negativna reakcija

Negativna reakcija kod jednog tranzistora

73. — Stupanj sa zajedničkim emiterom i nepremoštenim emiterskim otporom najjednostavniji je slučaj negativne reakcije. Ovdje se radi o strujno-naponskoj negativnoj reakciji. Napon negativne reakcije, dobiven na emiterskom otporu, spojen je serijski s ulaznim signalom i povećava ulazni otpor tranzistora, jer je sada za istu struju baze I_b,

kao u stupnju bez reakcije, potreban veći ulazni napon, i to za pad napona na emiterskom* otporniku.

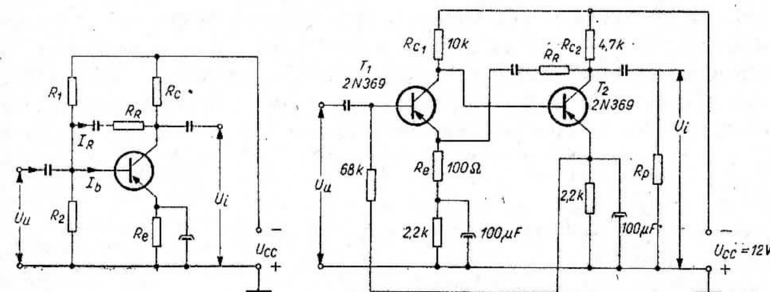
Budući da se kolektorska i emiterska struja praktički ne razlikuju, ovdje dakle s izlaznom strujom nastaje napon negativne reakcije; to je strujna negativna reakcija, koja povećava izlazni otpor pojačala. Pojačanje takva stupnja iznosi

$$V_u' = \frac{V_u}{1 - \dfrac{V_u \cdot R_e}{\alpha_b \cdot R_p}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (39)$$

gdje je V_u naponsko pojačanje bez negativne reakcije, a V_u' naponsko pojačanje sa negativnom reakcijom, koje dano u uobičajenom obliku iznosi $\frac{V_u}{1 - V_u \beta}$. U našem je slučaju $\beta = \frac{R_e}{\alpha_b R_p} \approx \frac{R_e}{R_p}$. Ulazni je otpor* povećan za R_e $(1 + \alpha_e)$, pa iznosi

$$R_u' = R_u + R_e (1 + \alpha_e) \quad \ldots\ldots \quad (40)$$

Negativna reakcija postignuta otpornikom u krugu kolektor-baza prikazana je na sl. 103. Preko otpornika R_b dovodi se u krug baze struja



Slika 103.
Negativna reakcija sa otpornikom u krugu kolektor-baza

Slika 104.
Paralelno - serijska negativna reakcija preko dva stupnja pojačala. Bez negativne reakcije uz $R_R = \infty$ pojačanje napona $V_u = 1400$, ulazni otpor $R_u = 7\ \text{k}\Omega$ izlazni otpor $R_i = 2500\ \Omega$ pri $f = 12$ kHz; uz $R_R = 360\ \Omega$, $V_u = 1000$, $R_u = 9$ kΩ i $R_i = 1800\ \Omega$

* Utjecaj nepremoštenog otpora R_e na ulazni otpor tranzistora može se vidjeti iz slijedećeg razmatranja:

Odnos struje emitera i struje baze dan je relacijom $I_e = (1 + \alpha_e) I_b$, dok za napon baza—emiter u tom slučaju vrijedi $U_{be} = U_u - I_e R_e$, gdje je U_u ulazni napon.

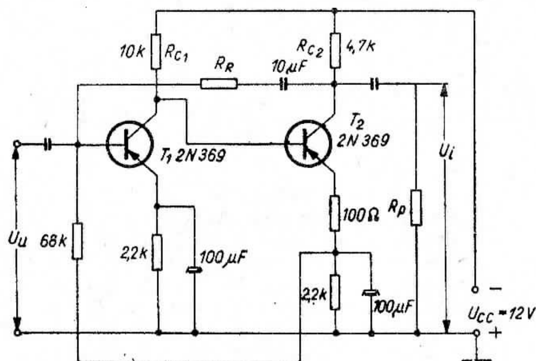
Ulazni otpor tranzistora jest $R_u = U_{be}/I_b$, dok je ulazni otpor sklopa $R_u' = U_u/I_b$. Odavde, dijeljenjem jednadžbe za U_{be} sa strujom I_b dobijemo da je $R_u' = R_u + R_e (1 + \alpha_e)$, i jasno je vidljivo da je ulazni otpor povećan za $R_e (1 + \alpha_e)$.

negativne reakcije, proizvedena padom napona na otporniku R_e koji je pomaknut prema ulaznom naponu za 180°. Ovdje se radi o naponsko-strujnoj negativnoj reakciji koja smanjuje izlazni i ulazni otpor pojačala (stabilizacija izlaznog napona je provedena, a time je dobiven mali izlazni otpor stupnja). Ulazni otpor postaje također manji, jer je za isti ulazni napon potrebna ulazna struja veća za I_R.

Negativna reakcija preko dva stupnja pojačala

74. — Negativna reakcija provedena samo u jednom stupnju ograničena je pojačanjem takva stupnja. Mnogo je pogodnije ako je negativna reakcija provedena preko dva ili više stupnjeva. Opisat ćemo dva sklopa dvostepenog pojačala s negativnom reakcijom.

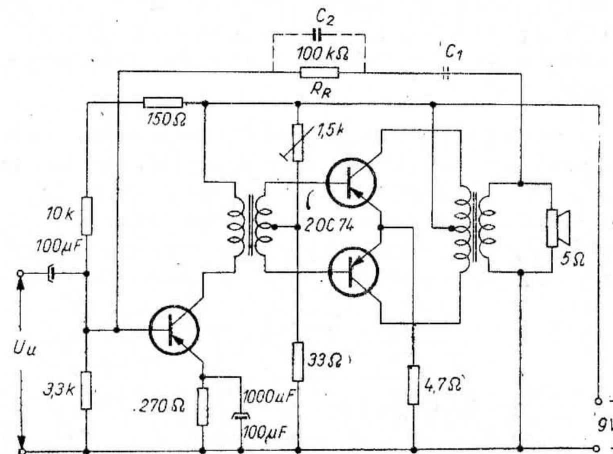
Najčešći sklop negativne reakcije preko dva stupnja vidimo na sl. 104. Budući da u dvostepenom tranzistorskom pojačalu s uzemljenim emiterom djeluje na kolektoru izlaznog tranzistora i bazi ulaznog tranzistora poluval istog predznaka, napon kolektora nije moguće dovesti direktno na bazu, jer bismo umjesto negativne reakcije dobili pozitivnu. Naprotiv, ako se napon s kolektora drugog tranzistora privede emiteru prvog, preko emiterskog otpora baza dobije poluval suprotna predznaka, pa je sklop u negativnoj reakciji. Napon negativne reakcije iz izlaza izveden je paralelno u odnosu na izlazni napon, a serijski spojen s ulaznim naponom. Riječ je, prema tome, o paralelno-serijskoj negativnoj reakciji koja smanjuje izlazni, a povećava ulazni otpor pojačala. Na otporu R_e dobiva se reakcioni napon obaju tranzistora. Nepremošteni dio emiterskog otpora povećava, naime, također ulazni otpor pojačala, čemu se još dodaje utjecaj otpora negativne reakcije R_R. Faktor negativne reakcije β približno je jednak $\frac{R_e}{R_e + R_R}$ i odavde možemo izračunati naponsko pojačanje.



Slika 105.
Serijsko - paralelne negativne reakcije preko dva stupnja. Bez negativne reakcije uz $R_R = \infty$, $V_u = 2200$, $R_u = 1850\ \Omega$, $R_i = 4000\ \Omega$, $f = 12$ kHz; uz $R_R = 11500\ \Omega$, $V_u = 1000$, $R_u = 120\ \Omega$, $R_i = 4500\ \Omega$

Na sl. 105 prikazana je serijsko-paralelna negativna reakcija preko dva stupnja pojačala. Ovaj način negativne reakcije smanjuje ulazni otpor pojačala, a povećava izlazni.

75. — Budući da najveća izobličenja nastaju u izlaznom stupnju, potrebno je u petlju negativne reakcije uključiti takav stupanj. Negativna se reakcija može provesti sa sekundara ili primara transformatora. Sekundarna negativna reakcija ima, s obzirom na primarnu, više prednosti: uz isto smanjenje pojačanja postiže se veće smanjenje prigušnog i harmoničkog izobličenja, jer je petljom negativne reakcije obuhvaćen izlazni transformator, manji je napon brujanja, i izlazni otpor.



Slika 106.
Izlazno 1W pojačalo obuhvaćeno petljom negativne reakcije

Nezgodna je strana primjene sekundarne reakcije međutim što lako dolazi do oscilacija zbog faznog zakreta koji uzrokuju rasipni induktiviteti. Na sl. 106 dano je izlazno protufazno pojačalo u kojem je negativna reakcija provedena iz sekundara izlaznog transformatora na ulaz pobudnog stupnja. Preko visokoomskog otpora R_R dovodi se na bazu pobudnog tranzistora struja negativne reakcije, proporcionalna izlaznom naponu. Ova negativna reakcija djeluje samo onda ako je taj stupanj strujno pobuđivan. Kondenzator C_2 sprečava nestabilnost pojačala pri visokim frekvencijama, dok kondenzator C_1 služi za korekciju frekventne karakteristike pri nižim frekvencijama.

Šum tranzistora

76. — U elektronskim uređajima šumom nazivamo neželjeni signal koji se javlja uz koristan signal. Dvije su općenite klasifikacije šumova: vanjski šumovi — uvjetovani atmosferskim smetnjama, iskrenjene motora i sl., i unutarnji šumovi, koji nastaju zbog fizičkih svojstava upotrebljenih materijala. Šumovi u stvari ograničuju osjetljivost odgovarajućeg uređaja, na primjer prijemnika ili pojačala; ako je naime signal slab u odnosu na šum, šum će ga maskirati.

Kvaliteta uređaja obično se izražava odnosom signal-šum na izlazu pojačala. koji se daje u decibelima i kreće se, ovisno o primjeni, između 15 dB i 60 dB i više. Isključit ćemo utjecaj vanjskih šumova i obuhvatit ćemo samo one koji nastaju u tranzistorima.

Kao i elektronke, i tranzistori unose šumove u sklopove u kojima su primijenjeni. Dok su prvi tranzistori imali u pogledu šumova slabije karakteristike, tehnologija tranzistora toliko je napredovala da se već proizvode tranzistori čiji šumovi nisu veći nego oni elektronskih cijevi. U pojačalu s niskoomskim ulazom veličine 1 kΩ šum niskofrekventnog tranzistorskog pojačala čak je manji nego u pojačalima s elektronkama.

77. — U osnovi, šumovi se tranzistora mogu svesti na ove vrsti:

— *Toplinski šum* koji se pojavljuje u otpornicima kao posljedica nepravilnog termičkog gibanja nosilaca struje u materijalu. U svakom se vodiču, pa i nespojenom, stvara naime napon šuma koji ovisi o temperaturi, širini frekventnog područja i veličini otpora R.

Veličina srednje vrijednosti kvadrata napona računa se prema formuli

$$\overline{U_n^2} = 4\,k\,T\,R\,\Delta f \qquad (41)$$

gdje je $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Ws/°K Boltzmanova konstanta, R otpor vodiča u Ω, T temperatura vodiča u °K i Δf širina pojasa u Hz. U tranzistorima termički šum nastaje na otporu baze. Na primjer, napon šuma na otporu 1 MΩ i $\Delta f = 4$ MHz na temperaturi 20°C iznosi 254 μV.

— Druga vrst šuma, poznata i u elektronskim cijevima, jest *efekt sačme*, koji kao i termički šum ima kontinuiran i jednolik frekventni spektar. On se učituje u fluktacijama struje kroz tranzistor, koje izazivaju neprestana kolebanja broja strujnih nosilaca između emitera, baze i kolektora, nastala zbog difuzije i rekombinacije.

— U tranzistorima je naročito značajna još jedna vrst šuma. To su *šumovi iskrenja* (engl. flicker), nazvani i »1/f« - *šumovima*, jer im je veličina obrnuto proporcionalna s frekvencijom. Napon šuma iskrenja možemo izračunati iz formule

$$\overline{U_N^2} = k \ln \frac{f_g}{f_d} \qquad (42)$$

gdje je k konstanta, f_g i f_d gornja i donja granična frekvencija promatranog pojasa, a $\overline{U_N}$ efektivna vrijednost napona šuma iskrenja. Proizvođači tranzistora daju podatke koji omogućuju izračunavanje k.

Faktor šuma

78. — Kao mjerilo veličine šuma uveden je *faktor šuma F* i obično se daje za tranzistore koji se upotrebljavaju u predstupnjevima. Interesantan podatak za određivanje kvalitete pojačala jest odnos snage

signala prema snazi šuma dobivenog iz pojačala, koji se naziva odnosom *signal - šum*, a označava sa S. Ako su S_u i S_i ulazne i izlazne vrijednosti odnosa signal-šum, zbog šuma nastalog u pojačalu smanjit će se S_i prema S_u. Ovo smanjenje pri određenoj frekvenciji f_s dano je pomoću faktora šuma F, koji je definiran odnosom ukupne snage N_{in} u frekventnom pojasu Δf kod frekvencije f_s, te izlazne snage N_{ir} u istom frekventnom području, koja rezultira od toplinskog šuma nastalog na unutarnjem otporu generatora R_g. Ako je V_s pojačanje snage, bit će $N_{ir} = V_s N_{ur}$, gdje je N_{ur} snaga toplinskog šuma na otporu R_g, koja ulazi u pojačalo. Kako je prema definiciji $V_s = \frac{N_i}{N_u}$, gdje je N_i izlazna snaga signala, a N_u ulazna, dobivamo

$$F = \frac{N_{in}}{V_s N_{un}} = \frac{N_u/N_{un}}{N_i/N_{in}} = \frac{S_u}{S_i} \qquad (43)$$

Faktor šuma je dakle jednak odnosu signal-šum na ulazu prema odnosu signal-šum na izlazu, koji su definirani za Δf *i* f_s. U podacima proizvođači daju često faktor šuma koji se mjeri pri frekvenciji 1000 Hz i širini pojasa 1 Hz, a označava se sa F_0. Pored gornje definicije faktor šuma može biti izražen bilo odnosom napona, bilo odnosom kvadrata napona ili odnosom maksimalno raspoloživih snaga. (Pod maksimalno raspoloživom snagom podrazumijeva se snaga koju generator daje potrošaču u slučaju prilagođenja potrošača otporu generatora). Različite definicije faktora šuma koje se javljaju u literaturi koriste se zato, što je pojedina definicija pogodnija za određeni slučaj. Faktor šuma obično se, kao i odnos signal-šum, daje u decibelima.

Sadrži li pojačalo nekoliko stupnjeva (od kojih je svaki posebno generator šuma), čiji su faktori šuma F_1, F_2 i F_3, ukupni će faktor šuma biti

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{V_{s1}} + \frac{F_3 - 1}{V_{s1} \cdot V_{s2}} \qquad (44)$$

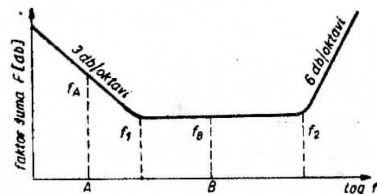
gdje su V_{s1} i V_{s2} pojačanje snage prvog i drugog stupnja. Prema formuli vidimo da je utjecaj ostalih faktora na ukupan šum malen, pa faktore šuma ostalih stupnjeva možemo, ako je V_{s1} dovoljno velik, zanemariti.

Tranzistorski šum

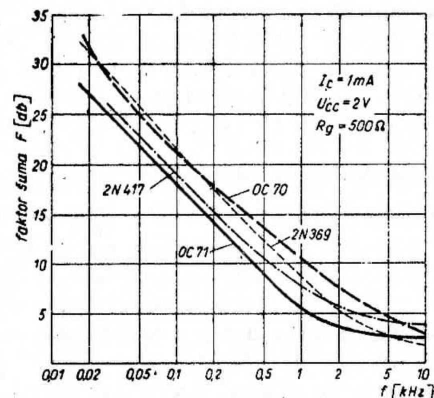
79. — Karakteristika šuma koja se može primijeniti za sva tri spoja tranzistora do frekvencije f_d ima općenito oblik prikazan na sl. 107. Tranzistorski je šum podijeljen prema frekventnom području na tri dijela.

Pri niskim frekvencijama do frekvencije f_1 prevladava *šum iskrenja* ili *1/f - šum*, koji je obrnuto proporcionalan frekvenciji. Faktor šuma u tom području pokazuje pad približno za 3 dB po oktavi. Sl. 108, gdje

su dane karakteristike šuma za nekoliko tipova tranzistora do frekvencije f_1 pokazuje međutim da taj šum varira između 3 dB i 5 dB po oktavi, pa je zakon $1/f$ samo približan.



Slika 107.
Spektar tranzistorskog šuma



Slika 108.
Karakteristike šuma nekih tipova tranzistora

Iznad frekvencije f_1, koja za moderne tranzistore iznosi oko 1 kHz, »$1/f$« šum zanemariv je prema toplinskom šumu i efektu sačme. Granica između ta dva područja dosta je neodređena, pa frekvencija u normalnim radnim uvjetima prilično odstupa i kreće se između 1 kHz i 20 kHz, dok se za sve navedene tipove nalazi iznad 1 kHz.

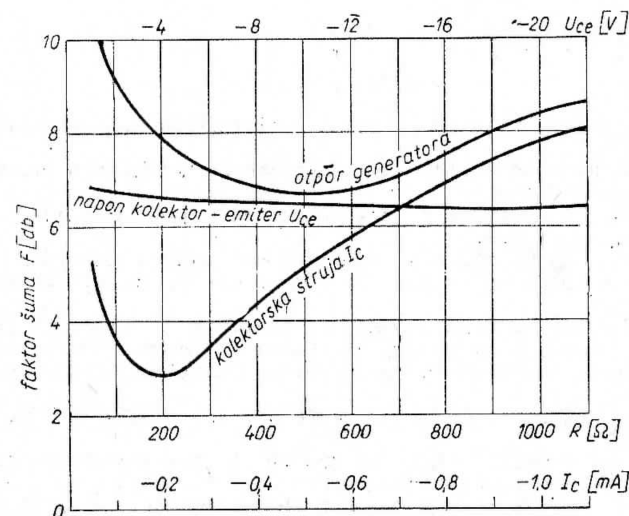
U području između frekvencija f_1 i f_2, gdje f_2 može iznositi od nekoliko desetaka kHz do nekoliko MHz, nivo je šuma najniži i uglavnom neovisan o frekvenciji; prevladavaju *efekt sačme* i *toplinski šum*.

Najzad pri višim frekvencijama, u području iznad f_2, efekt sačme i toplinski šum ne mijenjaju se s frekvencijom, ali se zbog smanjenja pojačanja (smanjuje se odnos signal-šum na izlazu), te zbog vremena kretanja sporednih nosilaca u području baze faktor šuma povećava.

Da bismo odredili faktor šuma nepoznatog tranzistorskog kruga i dobili karakteristiku šuma, potrebno je izmjeriti faktore šuma u tačkama A i B (sl. 107). Frekvencija f_A treba da je u području šuma iskrenja, gdje su toplinski šum i efekt sačme zanemarivi, a frekvencija f_B u području između frekvencija f_1 i f_2. Uz pretpostavku da faktor šuma f_2 6 dB po oktavi, možemo, koristeći pri tom relaciju* $f_2 = \sqrt{f_{ab} \cdot f_{ae}}$, pada u području šuma iskrenja 3 dB po oktavi, a iznad frekvencije nacrtati karakteristiku šuma takva stupnja. Za komercijalne tranzistore nisu nažalost dani ovi podaci, već samo F_o ($\Delta f = 1$ Hz i $f_s = 1000$ Hz). Ako je $F > 10$ dB, možemo zaključiti da se radi o šumu

* f_{ab} i f_{ae} su gornje granične frekvencije za spoj sa zajedničkom bazom, odnosno za spoj sa zajedničkim emiterom.

iskrenja, ako pak iznosi 7 dB ili manje, radi se o efektu sačme i toplinskom šumu. Faktor šuma može se izraziti i tranzistorskim parametrima.



Slika 109.
Ovisnost faktora šuma o kolektorskoj struji, kolektorskom naponu i otporu generatora R_g za tranzistor 2N104

80. — Faktor šuma naglo se povećava pri višim vrijednostima kolektorskog napona U_c i kolektorske struje, dok je pri nižim vrijednostima U_c uglavnom neovisan o naponu kolektora. Isto je tako neovisan i o otporu potrošača, ali znatno ovisi o veličini pobudnog otpora generatora. Zbog toga je za postizanje minimalnog šuma u sklopu potrebno izabrati povoljne radne uvjete, znači optimalne vrijednosti za I_e i R_g.

Na sl. 109 prikazan je faktor šuma tranzistora 2N 104 u ovisnosti o emiterskoj struji I_e, kolektorskom naponu U_c i otporu generatora R_g, mjeren pri frekvenciji 12,3 kHz i širini pojasa 7 Hz. Minimalna vrijednost bit će uz struju $I_e = 0{,}2$ mA, dok se iznad i ispod te vrijednosti faktor šuma povećava. Optimalna je vrijednost otpora generatora R_g oko 500 Ω, dok napon kolektora* relativno malo utječe na veličinu faktora šuma. Za slojne tranzistore faktor šuma općenito se kreće u području od 10 dB do 30 dB, uz frekvenciju 1 kHz i $\Delta f = 1$ Hz, dok je u području između f_1 i f_2 manji približno za 3 dB.

* Utjecaj napona U_{ce} malen je zbog male vrijednosti α ovog tranzistora.

Valja naglasiti da sve tri tranzistorske konfiguracije — spojevi sa zajedničkim emiterom, zajedničkom bazom ili zajedničkim kolektorom — imaju približno istu vrijednost faktora šuma, dok je jedino spoj sa zajedničkim kolektorom u području iznad granične frekvencije nešto povoljniji.

Pitanja

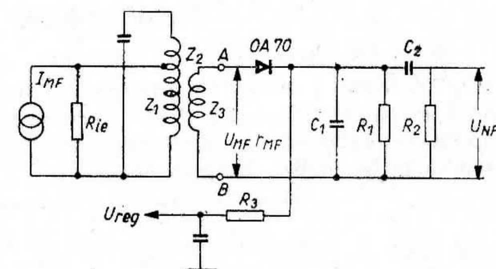
35. Kakva je razlika između statičkih i dinamičkih karakteristika tranzistora?
36. Kako se može izračunati naponsko pojačanje s faktorom strujnog pojačanja tranzistora?
37. Kod kojeg tranzistorskog spoja se postiže najveće pojačanje napona, snage, struje i zašto?
38. Zašto spoj sa zajedničkim emiterom ima najširu primjenu. Je li to uvijek najpogodniji spoj? U koje svrhe se koriste druge konfiguracije?
39. Što određuje veličinu veznog kondenzatora u otpornom pojačalu sa RC-vezom? Zašto je vrijednost veznog kondenzatora u otpornom pojačalu sa elektronkom znatno manja nego kod pojačala s tranzistorom?
40. Koji se parametri koriste pri proračunu RC-vezanih pojačala malih signala?
41. Koji sve elementi utječu na gornju, a koji na donju graničnu frekvenciju pojačala sa RC-vezom?
42. Kako djeluje dodavanje nepremoštenog otpora u emiterski krug tranzistora?
43. Kakvi se problemi javljaju pri konstrukciji izlaznog pojačala s tranzistorom?
44. Kojim se sklopom može postići veći stupanj djelovanja?
45. Do kakvih izobličenja dolazi u B-pojačalu?
46. Kakvi se obrtači faze upotrebljavaju za pobuđivanje protufaznog izlaznog stupnja?
47. Navedi načine pobuđivanja tranzistora!
48. Koja je razlika između naponsko-naponske, naponsko-strujne i strujno-strujne negativne reakcije?
49. Koja je prednost negativne reakcije preko više stupnjeva?
50. Koje se vrste šumova javljaju u tranzistorima?
51. Definiraj faktor šuma!

Demodulatori u tranzistorskim prijemnicima

AM demodulator

81. — Opće je pravilo da se u tranzistorskim prijemnicima upotrebljavaju kristalne (germanijeva ili silicijeva) diode za demodulaciju međufrekventnog signala. Zanemarimo li niskoomski prigušni otpor demodulatora i mali međufrekventni signal, vidimo da je demodulatorski stupanj potpunosti isti kao u prijemnika s elektronkama (AM-amplitudno moduliran signal).

Demodulatorski spoj prikazan na sl. 110 pokazao se vrlo pogodnim za primjenu. Demodulacija se vrši preko diode OA 70, koja mora ujedno da osigura snagu potrebnu za automatsku regulaciju pojačanja. Izlaz posljednjeg međufrekventnog tranzistora (OC 169) prikazan je kao strujni izvor unutarnjeg otpora R_{ie}. Dioda je opterećena uobičajenim RC-članom (R_1—C_1). Niskofrekventni napon, dobiven na otporniku R_1, odvodi se preko kondenzatora C_2 i. otpornika R_2 u krug baze niskofrekventnog tranzistora. Ulaz demodulatora označen je tačkama A i B. Međufrekventni titrajni krug prigušen je otporom demodulatora r_{MF}, dok je U_{MF} modulirani međufrekventni napon. Otpornik R_1 predstavlja opteretni otpor za istosmjernu struju, ali ne i za izmjeničnu. Vrijednost otpora R_1 određuje međutim oblik krivulje koja prikazuje prigušni otpor demodulatora r_{MF} kao funkciju diodnog napona U_{MF}, i njegova vrijednost treba da bude uglavnom neovisna o nivou signala, tako da je i opterećenje posljednjeg međufrekventnog stupnja konstantno. Bez posebnih mjera to je moguće samo za određenu vrijednost R_1. Kako je u tranzistorskim prijemnicima taj otpor općenito malen, konstantnost se otpora r_{MF} postiže davanjem prednapona diodi. Radni otpor za izmjeničnu struju, ako zanemarimo reaktancije frekventno ovisnih elemenata C_1 i C_2, bit će paralelan spoj otpornika R_1, R_2 i R_3 i ulaznog otpora tranzistora R_u, dakle je manji nego za istosmjernu struju. Pri tom je R_3 otpornik za regulaciju. Teškoće s kojima se susrećemo pri izvedbi demodulatora nalaze se u svojstvima tranzistorskih pri-



Slika 110.
Shema demodulatora

jemnika. Ulazni je otpor niskofrekventnog tranzistora niskoomski i iznosi samo nekoliko kilooma, ovisno o radnoj tački i tipu tranzistora. Osim toga prijemnik radi s niskim pogonskim naponom (uvjetovanim veličinom i ekonomičnošću aparata), tako da međufrekventni signal iznosi od 50—400 mV.

Kod izvedbi demodulatora postavljeni su ovi zahtjevi:

— demodulator mora niskofrekventnom pojačalu da daje dovoljnu snagu;
— potrebno je da ima dobar stupanj djelovanja (odnos niskofrekventne snage prema dovedenoj međufrekventnoj);
— mora da ima prigušni otpor r_{MF} neovisan o veličini međufrekventnog signala;
— treba da omogući prijenos signala s većim stupnjem modulacije;
— treba da radi sa što manjim faktorom izobličenja.

Prilagođenje

82. — Da bismo spriječili preveliko prigušenje međufrekventnog titrajnog kruga i omogućili maksimalno prenošenje snage potrebno je, kao i prije, izvesti prilagođenje impedancije, tj. uz dani tranzistor i titrajni krug postići što veći medufrekventni napon, a prema tome i veću snagu na ulazu u demodulator

$$\boxed{N_0 = I^2_{MF} \left[\frac{a-1}{a}\right]^2 \frac{r_{MF}}{\left|\frac{1}{n} + \frac{n\, r_{MF}}{R_{ec}}\right|^2}} \quad . \; . \; . \quad (45)$$

gdje je $n = \frac{z_1}{z_3}$ i $a = \frac{Q_0}{Q_0}$ (Q_0 — faktor kvalitete neopterećenog kruga, Q_p — faktor kvalitete opterećenog kruga).

Maksimalni prijenos snage postiže se uz uvjet, da je prijenosni odnos

$$n = \sqrt{\frac{R_{ie}}{r_{MF}}}$$

Iz jednadžbi*

$$\boxed{r_{MF} \approx \frac{R_1}{2\,\eta_{cc}}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (46)$$

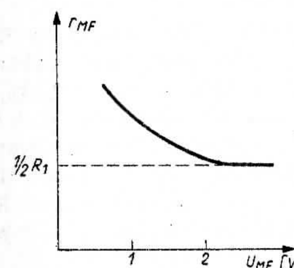
gdje je η_{cc} istosmjerni stupanj djelovanja, i

$$r_{MF} = \frac{U_{MF}}{2\,I}\,[1 + 91\,\alpha^2 + 0{,}0045\,\alpha^4 + \ldots]$$

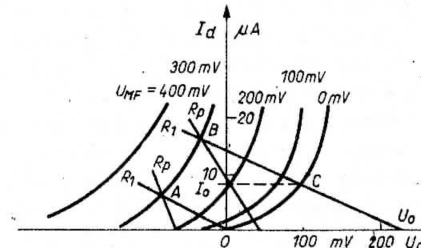
i dijagrama na sl. 111 očigledna je ovisnost prigušnog otpora demodulatora o međufrekventnom naponu i otporniku za istosmjernu struju R_1. Na nižim međufrekventnim naponima, to jest u području koje se

* Kod malih ulaznih signala (oko 50 mV) vrijednost za r_{MF} u omima vrijedi približna relacija $r_{MF} = 0{,}025\, I_d$, gdje je I_d struja diode u amperima.

koristi u tranzistorskim prijemnicima, te su promjene znatne i utječu na selektivnost i širinu pojasa međufrekventnog pojačala, te na prenošenje snage. Kod većih vrijednosti napona $U_{MF} > 2$ veličina je prigušnog otpora demodulatora r_{MF}, uz opteretni otpor od nekoliko desetaka kilooma $r_{MF} \approx \frac{R_1}{2}$, dok je uz signal ispod 50 mV ona dana nagibom tangente u presjecištu pravca opteretnog otpornika R_l i ispravljačke karakteristike diode, (sl. 112).



Slika 111. Ovisnost prigušenog otpora demodulatora o međufrekventnom naponu



Slika 112. Ispravljačke karakteristike demodulatora sa diodom OA70 kod malog međufrekventnog signala

Da bi se uz što manje izobličenje omogućio što veći stupanj modulacije, dioda OA-70 dobiva preko otpornika R_1, R_8 i R_9 prednapon 0,2 V u propusnom smjeru, sl. 120.

Na sl. 112 dane su ispravljačke karakteristike germanijeve diode OA 70 za područja visokofrekventnog napona od 0—400 mV.

Na tom su području ispravljačke karakteristike nejednoliko razmaknute. Radni otpor za izmjeničnu komponentu sastoji se, ako zanemarimo frekventno ovisne elemente od paralelnog spoja unutarnjeg otpora tranzistora R_u i,

$$R_P = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = 3{,}3\ \mathrm{k\Omega}$$

Pogledajmo najprije rad demodulatora bez prednapona diode!

Uz pretpostavljenu radnu tačku A i $U_{MF} = 300$ m V_{ef} možemo ići na stupanj modulacije samo do 30%, jer će uz dati R_p kod većeg stupnja modulacije doći do rezanja vrhova signala. Uz prednapon na diodi pravac radnog otpora R_1 pomaknut će se udesno za vrijednost prednapona, pa uz isto opterećenje i U_{MF} ne dolazi do rezanja vrhova ni pri stopostotnoj modulaciji. Kako je prigušni otpor demodulatora uz male signale dan nagibom tangente na karakteristici, može se pogodno odabranim prednaponom diode i otpornikom R_2 postići to da je $r_{MF} \approx \frac{1}{2} R_1$ uglavnom neovisan o međufrekventnom naponu U_{MF}.

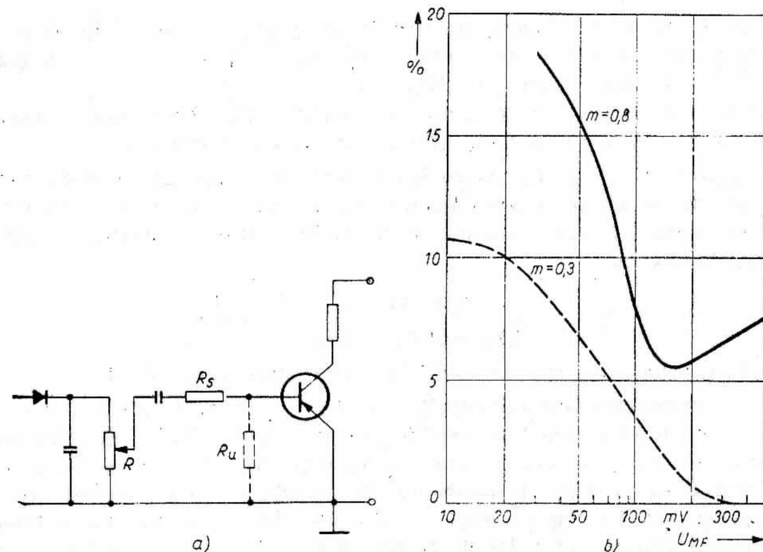
Maksimalni stupanj modulacije, kod kojeg je izobličenje još zanemarivo, ovisi o odnosu otpora R_p i otpora R_1, dakle o $\frac{R_p}{R_1}$ i o unutarnjem otporu generatora R_g.

Ovisnost stupnja modulacije o ovim veličinama dana je približnom formulom

$$m_{max} = 1 - \frac{\eta_{cc}(1 - R_p/R_1)}{1 + 2\eta_{cc} R_g/R_2} \quad \ldots\ldots \quad (47)$$

Iz ovoga se vidi da će m_{max} biti veće uz veće vrijednosti R_p i R_g. Veća se vrijednost R_g postiže spajanjem posljednjeg međufrekventnog tranzistora s demodulatorom preko jednostavnog titrajnog kruga. Otpor za izmjeničnu struju može biti povećan spajanjem niskofrekventnog stupnja i demodulatora s transformatorom, ili negativnom reakcijom, na primjer nepremoštenim emiterskim otporom. Češće se međutim primjenjuje sklop prikazan na sl. 113a, gdje je otpor R_s spojen u seriji s ulazom tranzistora. Otpor za izmjeničnu struju demodulatora povećan je dakle i iznosi $\frac{(R_s + R_u) \cdot R}{R_s + R_u + R}$.

Ako je otpor R_s velik u odnosu na ulazni otpor tranzistora R_u, detektor je u stvari izvor konstantne struje koji poboljšava linearnost pojačala. Međutim, s druge strane dolazi na tom otporu do gubitka snage.

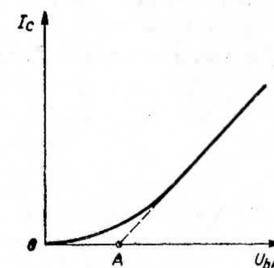


Slika 113.
a) Povećanje ulaznog otpora tranzistora postiže se dodavanjem otpornika R_S, b) Ovisnost faktora izobličenja demodulatora o međufrekventnom naponu uz stupanj modulacije kao parametar

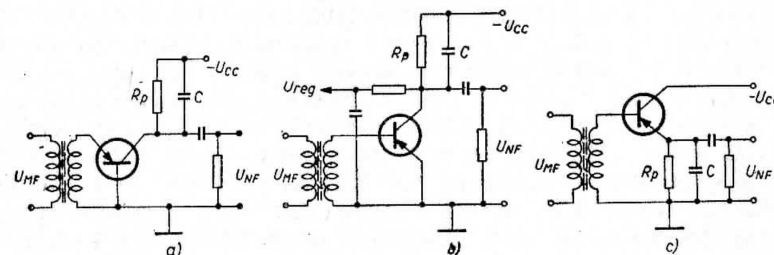
83. — Za dobru reprodukciju niskofrekventnog signala potrebno je da signal, koji dolazi na niskofrekventni ulaz pojačala, bude što manje izobličen. Razlozi zbog kojih nastaje nelinearno izobličenje u demodulatoru već su spomenuti — nejednoliki razmaci ispravljačkih karakteristika, što osobito dolazi do izražaja kod većeg stupnja modulacije, i položaj radnog pravca R_p. Zbog toga je regulacija glasnoće izvedena na način prikazan na sl. 113a. Najpogodniji bi slučaj bio uz $R_p = R_2$, to jest faktor izobličenja bi kod nižih nivoa glasnoće bio manji. Ali zbog otpornika u krugu regulacije i otpornika u emiteru taj se slučaj ne može postići. Kako je međufrekventni napon na demodulatoru između 50 i 250 mV, prednapon na diodi odabran je tako da je izobličenje u tom području najmanje. Važno je napomenuti da visokofrekventni naponi ne smiju pasti ispod 50 mV, jer u tom slučaju dolazi do kvadratne detekcije, gdje su izobličenja znatno veća. Uz male signale faktor je izobličenja zbog toga približno jednak četvrtini stupnja modulacije, no već iznad četrdesetpostotne modulacije veći je od deset posto. Na sl. 113b mjerenjem su dobivene krivulje ovisnosti izobličenja o međufrekventnom naponu za različite stupnjeve modulacije.

Tranzistorski demodulator

84. — U nekim su slučajevima promjene amplitude ulaznog signala veoma velike i diodni demodulator ne daje dovoljnu snagu za efikasnu automatsku regulaciju pojačanja. Istosmjerno pojačalo potrebno za tu svrhu može se izbjeći upotrebom demodulatora s tranzistorima. U takvim demodulatorima ispravljačko djelovanje vrši dioda emiter-baza. Na sl. 114, gdje je dana prijenosna karakteristika tranzistora, U_A označava prednapon diode koji je za germanijeve tranzistore veoma malen, a ponekad može biti i jednak nuli. Demodulatorima s tranzistorima dobiveno je u spoju sa zajedničkim emiterom i zajedničkom bazom kao na sl. 115a



Slika 114.
Prijenosna karakteristika tranzistora



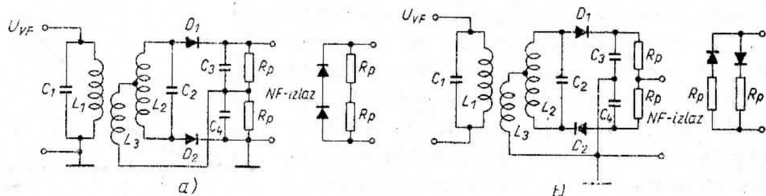
Slika 115.
Tranzistorski detektori a) u spoju sa zajedničkom bazom, b) zajedničkim emiterom c) zajedničkim kolektorom

i 115b, istosmjerno pojačanje u kolektorskom krugu. Sklop s tranzistorom u spoju sa zajedničkim kolektorom nema naponsko pojačanje, ali se zbog male izlazne impedancije i malog izobličenja signala primjenjuje u specijalnim slučajevima. Krug za automatsku regulaciju pojačanja (ARP) prikazan je samo za tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom, a lako se izvodi i za druge spojeve. Izobličenja demodulatora tranzistora obično su veća od onih kod dioda, pa stoga nemaju veću primjenu.

FM demodulator

85. — Demodulator *FM* signala (frekventno moduliran signal) veoma je važan dio *FM* prijemnika. Kao i u *AM* prijemu (amplitudno moduliran signal), demodulator mora i u *FM* prijemu da izdvoji tonfrekventne signale iz moduliranog visokofrekventnog vala.

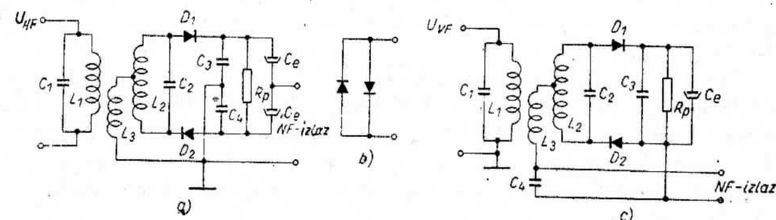
Zbog prednosti koje imaju u odnosu na ostale *FM* demodulatore, danas se isključivo koriste *demodulator faznog kuta* i *ratio-detektor*. Upoznat ćemo se ukratko s njihovom primjenom u tranzistorskim prijemnicima. Diode u diskriminatorima germanijeve su diode, kojih se dinamički kapacitet mijenja malo s promjenama ulaznog signala (diode OA 172 i OA 79). One su uvijek izabrane u parovima, pa su im električke karakteristike slične. Ipak, da bi se smanjila odstupanja u karakteristikama, stavljaju se u seriju s diodama mali otpori (od 100 do 300 Ω).



Slika 116.
a) Shema faznog diskriminatora i ekvivalentan krug za NF izlazni otpor, b) shema ratio detektora i ekvivalentni NF krug

Na sl. 116a i 116b prikazan je spoj ratio-detektora i faznog diskriminatora. Primarni se napon prenosi bez faznog pomaka u diskriminatorski krug preko svitka L_3, koji je čvrsto vezan s primarnim svitkom. Osjetljivosti oba sklopa, uz manje vrijednosti ulaznog signala, uglavnom su iste; pri višim nivoima međutim fazni je diskriminator mnogo osjetljiviji. No nezgodna mu je strana velika osjetljivost na amplitudne promjene signala. Signal koji dolazi u fazni diskriminator mora dakle da bude potpuno amplitudno ograničen. Do najveće primjene ratio-detektora došlo je zahvaljujući upravo činjenici da osim dobrih svojstava faznog diskriminatora (lako ugađanje i jeftina izvedba), posjeduje on i svojstvo ograničavanja amplituda visokofrekventnog signala. Osjetljivost ratio-detektora može se povećati izvedbom prikazanom na sl. 117a, u kojoj serijski spojeni elektrolitski kondenzatori premoštavaju otpornik R_p. Na taj je način smanjen niskofrekventni izlazni otpor diskriminatora. Ova shema vrijedi i za nesimetrični sklop. Ograničavanje amplituda u ratio-detektoru bolje je uz konstantan prigušni otpor diode r_{MF}. To se i ovdje postiže davanjem pozitivnog prednapona diodama.

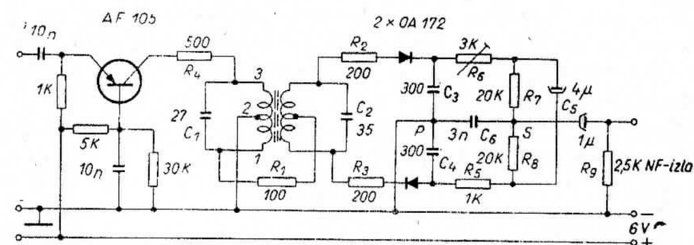
Na sl. 118 prikazan je praktički spoj ratio-detektora i pobudnog stupnja.



Slika 117.
a) Simetrični ratio-detektor, b) niskofrekventni izlaz, c) nesimetrični ratio-detektor

U međufrekventnom stupnju pojačala koji napaja ratio-detektor potpuno se iskorištava pobudno područje tranzistora, dakle tranzistor radi kao pojačalo velikog signala.

Pobudni stupanj izveden ovdje s tranzistorom AF 105 radi u spoju sa zajedničkom bazom uz emitersku struju 0,6 mA. Opteretni otpor



Slika 118.
Ratio-detektor s pobudnim stupnjem

treba da u slučaju prilagođenja bude približno 7 kΩ. Da bi se osiguralo što bolje ograničenje amplitude visokofrekventnog signala, sumarni istosmjerni napon na elektrolitskom kondenzatoru C_5 treba da budu što viši.

I jedan i drugi zahtjev postižu se odvojcima na zavojnici primarnog titrajnog kruga, u odnosu 2 : 3. Dakle samo se jedan dio zavojnice nalazi u krugu kolektora, a s određenom veličinom kapaciteta C_1 postiže se $R_p = 7\,\mathrm{k\Omega}$.

Primarni napon prenosi se s dijela svitka L_{1-3} u krug demodulatora preko otpornika R_1. Niskofrekventni napon uzima se s tačaka

S i *P*, dok kondenzator C_6, koji je u stvari priključen paralelno na ulaz, služi za spuštanje visokih tonova.

To ćemo shvatiti odmah iz ovog izlaganja. Najveći dio šuma u prijemniku leži u području iznad 5 kHz. Kod FM - prijema upravo su u tom području korisni signali malih amplituda, pa će se uz signale viših frekvencija čuti i šum. Ovo se rješava jednostavnim načinom: u odašiljaču se prije modulacije izdižu visoki tonovi (preemphasis), a u prijemniku će nakon demodulacije visoki tonovi biti na isti način spušteni (deemphasis).

Otpornik R_4 u kolektorskom krugu služi i ovdje za sprečavanje skoka napona (vidi odsjek 95). Uz napon napajanja 6V može se postići efektivna vrijednost kolektorskog izmjeničnog napona najviše 3,5 V. Znači da nije potrebno posebno ograničenje međufrekventnog napona. Otpornik 2,5 kΩ predstavlja ulazni otpor niskofrekventnog stupnja.

Pitanja

52. Kako se izvodi demodulatorski spoj u tranzistorskim prijemnicima? Zašto se taj sklop razlikuje od onog u prijemniku sa elektronkama?
53. Zašto ratio-detektor ima veću primjenu nego drugi FM-demodulatori?

Visokofrekventna tranzistorska pojačala

Međufrekventno tranzistorsko pojačalo

86. — Ponašanje tranzistora pri visokim frekvencijama opisano je već u odsjeku 28, gdje je dana i njegova ekvivalentna shema.

U tranzistorskim prijemnicima najčešće se primjenjuju visokofrekventna pojačala u međufrekventnim stupnjevima. Promatranja su u međufrekventnom i visokofrekventnom pojačalu ista, ali je potrebno spomenuti da je u visokofrekventnom pojačalu frekventno područje šire, tranzistor radi blizu granične frekvencije, pa su i uvjeti kritičniji nego u međufrekventnom pojačalu.

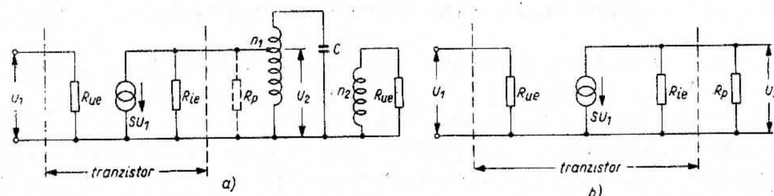
Pojačanje snage po stupnju pada s porastom frekvencije, tako da u blizini granične frekvencije nema istu vrijednost kao za međufrekvenciju. Pored toga dolazi i do frekventno ovisnog povratnog djelovanja izlaza na ulaz, što može dovesti do oscilacije stupnja, ukoliko se ne provede neutralizacija.

Izvedba međufrekventnog pojačala ovisi o traženoj selektivnosti, pojasnoj širini, osjetljivosti i stabilnosti, a to je pak uvjetovano primijenjenim međufrekventnim titrajnim krugovima. O tome da li su upotrebljeni pojasni filtri ili jednostavni titrajni krugovi, ovisi selektivnost i potrebna osjetljivost pojačala. S pojasnim filtrom u kritičnoj vezi širina je pojasa znatno povećana prema onoj u jednostavnom titrajnom krugu uz istu selektivnost, ali je zato s međufrekventnim pojasnim filtrom pojačanje manje. Kvalitetniji prijemnici grade se općenito s pojasnim filtrima, dok se minijaturni prijemnici i prijemnici slabijeg kvaliteta grade s jednostavnim titrajnim krugovima.

Međufrekventno pojačalo s jednostavnim titrajnim krugom

87. — Međufrekventno pojačalo mora da daje što veće pojačanje, uz potrebnu selektivnost i određenu širinu pojasa. Ako se radi o tranzistoru kao elementu međufrekventnog pojačala, treba da se uzmu u obzir njegova svojstva. To je u prvom redu razlika između ulaznog i izlaznog otpora, kao i to da su te vrijednosti male prema rezonantnom otporu titrajnog kruga. Uz to, kao i kod međufrekventnog pojačala s elektronkama, moramo voditi računa o ulaznom i izlaznom kapacitetu, koji se pribrajaju kapacitetu titrajnog kruga, i o utjecaju unutarnjeg otpora tranzistora na kvalitet kruga, a time i na selektivnost i širinu pojasa pojačala. Zbog velike ovisnosti karakterističnih veličina o emiterskoj struji potrebno je također stabilizirati radnu tačku i izvesti temperaturnu stabilizaciju.

Svojstva međufrekventnog stupnja mogu se promatrati na nadomjesnoj shemi tranzistora, sl. 119a. Ta shema vrijedi u slučaju kad nema povratne veze, to jest kad je izvršena neutralizacija. Kako tranzistor troši za pobudu snagu, potrebno je raditi s pojačanjem snage. Maksimalno pojačanje dobije se uz idealno prilagođenje, to jest ako je otpor potrošača jednak unutarnjem otporu izvora. Uz poznate karakteristične



Slika 119.
a) Nadomjesna shema međufrekventnog stupnja sa titrajnim krugom, b) nadomjesna shema optimalnog prilagođenja snage

veličine tranzistora (ulazni otpor R_{ue}, izlazni otpor R_{ie} i strmina S*) može se za slučaj na sl. 119b izračunati pojačanje snage. Određivanjem jednadžbe za snagu dobije se

Ulazna snaga $$N_v = \frac{U_1^2}{R_{ue}} \quad \text{(48)}$$

Izlazna snaga $$N_i = \frac{U_2^2}{R_p} \quad \text{(49)}$$

Budući da je kolektorska struja $i_c = SU_1$, ona na opteretnom otporu R_p i R_{ie} daje napon U_2. Uz $R_p = R_{ie}$ dobije se na R_p optimalna snaga. Tada je pojačanje snage

$$V_s = \frac{|S|^2 R_{ie} R_{ue}}{4} \quad \text{(50)}$$

Za ovaj je slučaj pojačanje snage ovisno samo o karakteristikama tranzistora. Optimalno pojačanje snage u realnom slučaju, sl. 119a, dobit će se prilagođenjem otpora ulaznog i izlaznog kruga, koje se izvodi pomoću odvojaka na zavojnici titrajnog kruga potrebnog za postizanje određene širine pojasa i selektivnosti. Kako i sam krug ima gubitke predstavljene paralelnim otporom R_0, tranzistor neće svu snagu dovesti potrošaču, već će se jedan dio trošiti u titrajnom krugu, i pojačanje se prema jednadžbi (50) ne može postići.

Prilagođenje izlaznog otpora R_{ie} prvog tranzistora na ulazni otpor drugog izvodi se prijenosnim odnosom, pri čemu vrijedi

$$\frac{R_{ie}}{n_1^2} = \frac{R_{ue}}{n_2^2}$$

* Strmina S jest vodljivost dana odnosom izlazne struje prema ulaznom naponu uz kratko spojene izlazne stezaljke. Označava se još i sa y_{21} i y_{fe}.

gdje je n_1 odnos broja zavoja odvojka kolektora prema ukupnom broju zavoja, a n_2 odnos sekundarnog odvojka prema ukupnom broju.

Kako oba transformirana otpora leže paralelno rezonantnom otporu titrajnog kruga, smanjuju mu faktor kvalitete. Rezonantni će otpor prema tome biti jednak njihovoj paralelnoj kombinaciji

$$R = \frac{R_0 + R'}{R_0 R'}$$

gdje je R_0 rezonantni otpor neopterećenog kruga, a

$$R' = \frac{1}{2} \frac{R_{ie}}{n_1^2}$$

Iz gornje jednadžbe dobije se prijenosni odnos

$$n_1^2 = \frac{1}{2} \frac{R_{ie}}{R} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \quad \text{(51)}$$

Vidimo da je $R_p = n^2 R$ opteretni otpor tranzistora. Prema tome će pojačanje snage biti

$$V_s = \frac{S^2}{4} R_{ie} \cdot R_{ue} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)^2 \quad \text{(52)}$$

Poznato je da je uz konstantan kapacitet kruga širina pojasa B obrnuto proporcionalna rezonantnom otporu, pa se jednadžba za pojačanje može pisati

$$V_s = \frac{S^2}{4} R_{ie} \cdot R_{ue} \left(1 - \frac{B_0}{B_1} \right)^2 \quad \text{(53)}$$

gdje je B_0 širina pojasa samog kruga, a B_1 željena širina pojasa. Dakle, s priključenim titrajnim krugom pojačanje se snage smanjuje za faktor

$$\left(1 - \frac{B_0}{B_1} \right)^2$$

Ako je prijenosni odnos jednak jedinici, može se izračunati kapacitet kruga

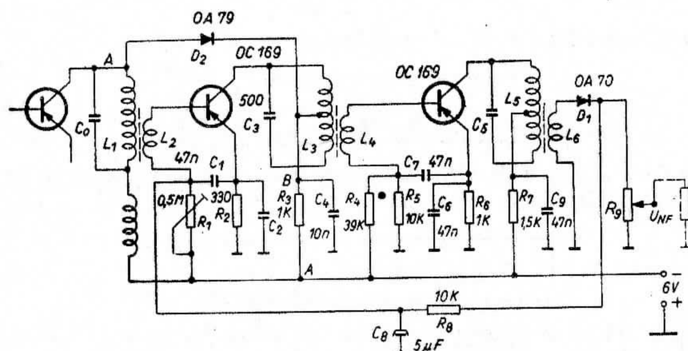
$$C = \frac{1}{R_{ie} \cdot B_1 \left(1 - \frac{B_0}{B_1} \right)} \quad \text{(54)}$$

Sastoji li se međufrekventno pojačalo od više stupnjeva, pojasna širina B_1 dobiva se iz ukupne širine pojačala B_{uk}.

$$B_1 = \frac{B_{uk}}{\sqrt{\sqrt[n]{2} - 1}}$$

gdje je n broj međufrekventnih krugova.

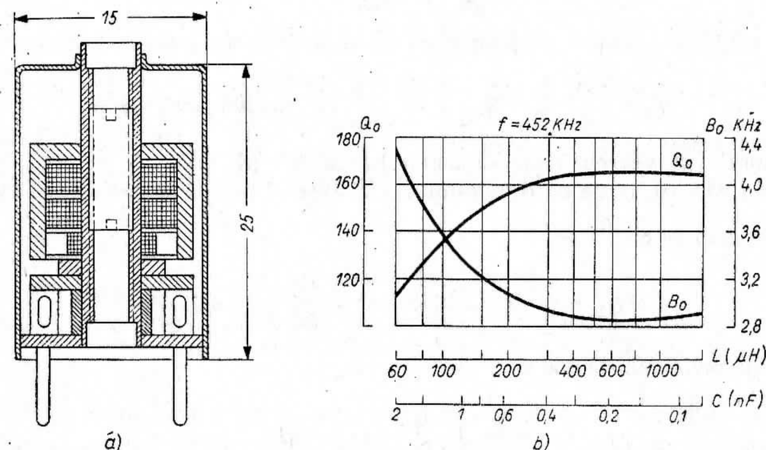
88. — Na sl. 120 izvedeno je dvostepeno međufrekventno pojačalo s tranzistorima OC169, koje sadrži tri međufrekventna titrajna kruga. Pomoću sekundarnih zavojnica L_2, L_4 i L_6 izvedeno je prilagođenje otpora između ulaznih i izlaznih krugova ovih tranzistora i diode demodulatora. Da bi se smanjilo prigušenje krugova, izvedeno je odvojcima na zavojnicama drugog i trećeg titrajnog kruga prilagođenje izlaznog otpora tranzistora i rezonantnih otpora titrajnih krugova. Korištenjem relativno velikih kapaciteta međufrekventnih titrajnih krugova (C_0, C_3, C_5) i upotrebom drift-tranzistora pojačalo radi tako stabilno da neutralizacija nije potrebna.



Slika 120.
Dvostepeno međufrekventno pojačalo s tranzistorima OC169; međufrekvencije 452 kHz i dvostrukom automatskom regulacijom pojačanja

Pojačalo ima međufrekvenciju 452 kHz. Oba stupnja stabilizirana su djeliteljem napona baze i otporom u krugu emitera. Visokofrekventni krug baze, odnosno kolektora, spojen je preko kondenzatora C_1, C_4, C_7 i C_9 na masu, dok su otpori emitera premošteni konzatorima C_2 i C_6. Budući da su krugovi baze i kolektora niskoomski, kondenzatori za blokiranje vrše fazna zakretanja koja mogu dovesti do nestabilnog rada pojačala. Takve se pojave mogu odstraniti pokusnim biranjem vrijednosti tih kapaciteta. Na prvi stupanj dovodi se bazi napon regulacije, dok drugi ima fiksan prednapon. Međufrekventni »transformatori« izvedeni su kao titrajni krugovi kako bi se dobilo što veće pojačanje, jer su gubici u njima manji nego kod pojasnih filtara. Međutim zbog male konstrukcije aparata može doći do povratne veze između antenskog i posljednjeg međufrekventnog kruga, zbog čega dolazi do osciliranja na pojedinim frekvencijama unutar valnog područja. Da bi se smanjilo rasipno magnetsko polje upotrebljavaju se međufrekventni krugovi s lončastom jezgrom, npr. tipa D 21A (Vogt). Izvedba kruga pokazana je na sl. 121a. Namotaj smješten u utore potpuno je oklopljen feritnim loncem. Visokopermeabilnom jezgrom unutar zavojnice

i pogodnim redom namatanja postignut je velik faktor veze. Sl. 121b pokazuje faktor kvaliteta Q_0 i pojasnu širinu B_0 u ovisnosti o induktivitetu L i kapacitetu C za međufrekventni krug D 21A i frekvenciju 452 kHz, dok je na sl. 121c dan dijagram namatanja.



Slika 121.
a) Međufrekventni titrajni krug D21A (Vogt), b) Dijagrami prikazuju obisnost faktora kvalitete Q_0 i širine pojasa B_0 o induktivitetu i kapacitetu

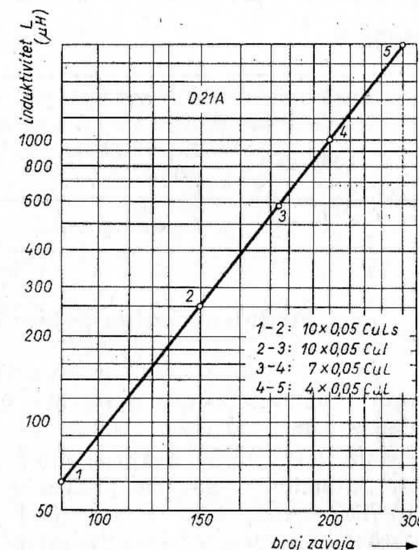
Za primjer na slici izvest ćemo proračun:

Tranzistor OC 169 u spoju međufrekventnog pojačala ima ove podatke:

strmina S = 30 mA/V
ulazni otpor R_{ue} = 1,6 kΩ
izlazni otpor R_{ie} = 18 kΩ
ulazni kapacitet C_{ue} = 90 pF
izlazni kapacitet C_{ie} = 5 pF

Kod dvostepenog pojačala sa tri titrajna kruga širine pojasa B_{uk} = 6 kHz, širina pojasa svakog stupnja jest

$$B_1 = \frac{B_{UK}}{\sqrt{\sqrt[n]{2}-1}} = 11{,}8 \text{ kHz}$$



Slika 121.
c) dijagram namatanja

Faktor je kvalitete zavojnice, uz kapacitet 500 pF, Q_0 = 160, pa će pojasna širina biti

$$B_0 = \frac{f_{MF}}{Q_0} = \frac{452}{160} \approx 3 \text{ kHz}$$

što možemo očitati i na dijagramu na slici. Pojačanje snage jest:

$$V_s = \frac{S^2}{4} R_{ie} \cdot R_{ue} \left(1 - \frac{B_0}{B_1} \right)^2 \approx 3400 \approx 35 \text{ dB}$$

Induktivitet potreban uz kapacitet kruga 500 pF kod f_{MF} = 452 kHz iznosi 250 μH, pa je na dijagramu na sl. 121c očitani broj zavoja oko 156.

Prijenosni je odnos n_1

$$n_1 = \sqrt{R_{ei}\, \pi\, B_1\, C \left(1 - \frac{B_0}{B_1} \right)} = 0{,}42$$

dok je prijenosni odnos n_2

$$n_2 = \sqrt{\frac{R_{ue}}{R_{ie}}}\; n_1 = 0{,}04$$

Proračun prvog i trećeg međufrekventnog kruga izvodi se na isti način, samo što se mora računati s drugačijim otporima kod prilagođenja. U tablici 3 dani su podaci za zavojnice međufrekventnih krugova.

Oznake u tablici odnose se na prijemnik prikazan u shemi sl. 147

Tablica 3

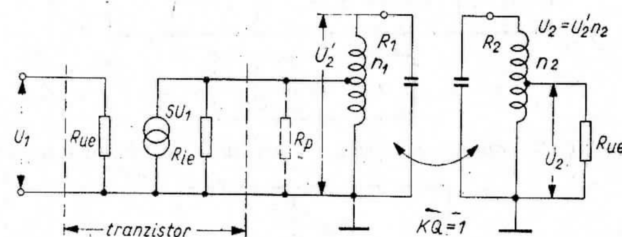
MF I	MF II	MF III	žica
L_0 = 110 zav.	L_{11} = 156 zav. odv. 67 „	L_{13} = 156 zav. odv. 40 „	V. F. pleten. 10 × 0,05
L_{10} = 11 zav.	L_{12} = 6 zav.	L_{14} = 30 zav.	CuLS 0,1

Međufrekventno pojačalo s pojasnim filtrom

89. — Prijemnik ima, uz dovoljno veliku selektivnost, zadovoljavajuću kvalitetu reprodukcije ako krivulja rezonancije ima pojasnu širinu 9 kHz i što veću strminu bokova (selektivnost). U kvalitetnijim prijemnicima upotrebljavaju se stoga pojasni filtri s kojima se, nasuprot prije opisanim krugovima, postižu ovi zahtjevi. Oni su obično vezani kritičnom vezom, dakle k = 1, jer potkritična veza unosi veće gubitke pojačanja, dok je pri nadkritičnoj vezi teže ugađanje krugova.

Optimalno pojačanje snage i ovdje je postignuto prilagođenjem ulaznog i izlaznog otpora, odvojcima na titrajnim krugovima. Prema

sl. 122 to će biti kad je $\frac{R_{ie}}{n_1^2} = \frac{R_{ue}}{n_2^2}$, gdje su n_1 i n_2 prijenosni odnosi zavoja.



Slika 122.
Nadomjesna shema MF-stupnja s pojasnim filtrom i izvedenim prilagođenjem izlaznog otpora R_{ie} prethodnog stupnja na ulazni otpor R_{ue} slijedećeg stupnja

Primarni krug prigušen je dakle izlaznim otporom tranzistora prethodnog stupnja, a sekundarni krug ulaznim otporom slijedećeg stupnja, tako da je radni otpor primarnog kruga $R = \frac{R_{ie} \cdot R_{01}}{R_{ie} + n_1^2 R_{01}}$, gdje je R_{01}, rezonantni otpor neopterećena kruga. Odavle izlazi potreban prijenosni odnos

$$n_1^2 = \frac{R_{ie}}{R} \left(1 - \frac{R}{R_{01}} \right)$$

Promatrajući međufrekventni pojasni filtar onako kao i jednostavne titrajne krugove za optimalno pojačanje snage, dobivamo formulu

$$V_s = \frac{|S|^2 R_{ue} R_{ie}}{4} \left(1 - \frac{R}{R_{01}} \right) \quad . \; . \; . \; . \; (55)$$

R je paralelni spoj rezonantnog otpora R_{01} neopterećena kruga i prenesenog izlaznog otpora $n_1 R_{ie}$.

Budući da su rezonantni otpori proporcionalni faktoru kvalitete kruga, formula (55) dobiva konačan oblik

$$V_s = \frac{|S|^2}{4} R_{ue} R_{ie} \left(1 - \frac{Q}{Q_0} \right) \quad . \; . \; . \; . \; (56)$$

Ako se umjesto pojedinačnog titrajnog kruga upotrijebi kao vezni član pojasni filtar s jednakim krugovima i kritičnom vezom, prijenosni je odnos $\sqrt{2}$ puta veći kod pojasnog filtra nego kod samog kruga, jer se uz isto pojačanje širina pojasa povećala za $\sqrt{2}$. U slučaju kritične veze, uz

uvjet da su oba kruga jednaka, radni je otpor pojasnog filtra za polovinu manji od pogonskog otpora primarnog kruga, pa je

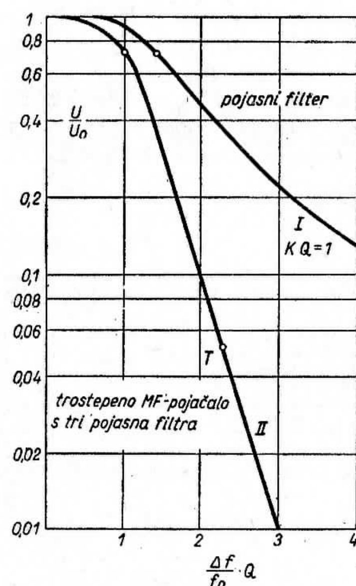
$$n_1 = \sqrt{\sqrt{2}\, C\, \pi\, B_1\, R_{ie} \left(1 - \frac{B_0}{B_1}\right)} \quad . . . . \quad (57)$$

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{R_p}{R_{ie}}} \quad . . . . \quad (58)$$

a potrebna širina pojasa za kritičnu vezu nađe se pomoću formule

$$B_1 = \frac{B_{uk}}{\sqrt[4]{\sqrt[n]{2} - 1}} \quad . . . . \quad (59)$$

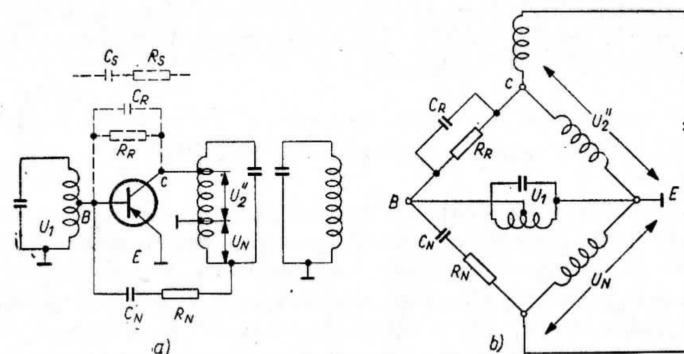
Ako nije poželjno povećanje pojasne širine filtra, tada se mora povećati pogonski faktor kvalitete kruga. U ovom su slučaju važni i faktori kvalitete neopterećena kruga.



Slika 123.
Pojasna širina i selektivnost MF pojačala

Za proračun pojasne širine i selektivnosti višestepenog pojačala koristi se sl. 123. Na apscisu je nanesen normirani nesklad $\frac{\Delta f}{f_0} = Q$. Q je opet pogonski faktor kvalitete kruga, a Δf odstupanje od rezonantne frekvencije f_0. Ordinata pokazuje odnos napona U/U_0. Krivulja I vrijedi za pojasni filtar sa dva kruga u kritičnoj vezi. Krivulja II dobije se iz krivulje I ako se naponski odnosi U/U_0, koji odgovaraju normiranom neskladu, podignu na treću potenciju. Odatle možemo izračunati selektivnost i pojasnu širinu za međufrekventno pojačalo sa tri jednaka pojasna filtra.

90. — Da bi se izbjegla nesimetrija rezonantne krivulje stupnja međufrekventnog pojačala, potrebno je takav stupanj neutralizirati. Na sl. 124 prikazan je neutralizirani stupanj za tranzistor sa zajedničkim emiterom. Zbog bolje preglednosti dan je i mosni spoj. Elementima neutralizacije dovodi se u krug baze struja iste jačine kao i struja povratnog djelovanja, ali u protufazi. U podacima za tranzistore obično se daju vrijednosti otpora i kapaciteta povratnog djelovanja u paralelnom spoju.



Slika 124.
a) Neutralizirani stupanj pojačala, b) Zbog bolje preglednosti nacrtan je i mosni spoj

Međutim u praksi se zbog odvajanja istosmjerne komponente koristi serijski spoj, pa se elementi moraju proračunati

$$R_S = \frac{R_R}{1 + \omega^2 C_R^2 R_R^2} \quad \text{i} \quad C_S = C_R + \frac{1}{\omega^2 C_R^2 R_R^2}$$

Veličine napona U''_2 i U_N određuju, s elementima povratnog djelovanja, veličinu otpora neutralizacije. Budući da su naponi proporcionalni brojevima zavoja, za elemente neutralizacije vrijedi

$$\frac{R_N}{R_S} = \frac{n_n}{n_1} \quad \text{i} \quad \frac{C_N}{C_S} = \frac{n_1}{n_n}$$

Upotreba oba elementa neutralizacije nužna je samo u stupnju s velikim pojačanjem, dok je u stupnju s manjim pojačanjem dovoljno staviti kapacitet C_N. Nažalost, potpuna se neutralizacija ne može postići, jer kapacitet povratnog djelovanja ovisi o naponu kolektora, pa prema tome i o naponu baterije, znači o radnim uvjetima tranzistora. Zbog odstupanja u karakteristikama tranzistora i povratno se djelovanje mijenja od tranzistora do tranzistora, pa se u praksi provodi neutralizacija koja odgovara tranzistorima sa srednjim povratnim djelovanjem. Veličina kapaciteta iznosi oko 10 pF. Prilagođenje titrajnog kruga tranzistoru može se izvesti i s kapacitivne strane. Prednost je tog sklopa što ne zahtijeva izvode na zavojnicama, pa se mogu koristiti standardni međufrekventni transformatori. Nezgodno je to što je potrebno paralelno napajanje preko otpornika R koji povećava prigušenje titrajnog kruga, pa prema tome smanjuje pojačanje. Budući da ovi stupnjevi rade s malim naponom, to ne uzrokuje veće teškoće.

Pojasni filtri grade se sa jezgrama prikazanim na sl. 121a. Namotaj je potpuno obuhvaćen feritnim loncem, pa je magnetsko pobudno polje malo i nije više dovoljno za vezanje zavojnica kruga. Potrebna

veza postiže se dodatnim namotajem sa hladnog kraja sekundarnog kruga koji se namata na tijelo primarnog kruga, ili kapacitetom. Broj veznih zavoja dobije se ispitivanjem.

Međufrekventni FM stupanj

91. — Praksa je pokazala da je za FM prijem potrebno, uz najvišu tonsku frekvenciju, prenijeti najveći frekventni pomak, dakle ± 75 kHz, pa je za kvalitetnu reprodukciju potrebna širina pojasa oko 200 kHz.

Širina pojasa u prijemnicima određena je prvenstveno međufrekventnim stupnjevima, dok ostali stupnjevi malo utječu na selektivnost prijemnika. Budući da cijeli prijemnik ima širinu oko 200 kHz, pojedini će stupnjevi imati veću širinu, između 300 kHz i 400 kHz. To znači da je potrebno, poveća li se broj stupnjeva, u odgovarajućoj mjeri smanjiti Q svakog pojedinog kruga, želimo li da širina pojasa ostane ista.

Veća širina pojasa zahtijeva i višu frekvenciju nego u AM-prijemu. Koju ćemo međufrekvenciju moći izabrati ovisi o nekoliko uvjeta:

— Pri višim su frekvencijama titrajni krugovi jače prigušeni, veći je utjecaj izlaznog i ulaznog kapaciteta.

— Pojačanje tranzistora ograničeno je prema višim frekvencijama.

— Potrebno je nastojati da zrcalna frekvencija bude izvan prijemnog područja (87,5 MHz—100 MHz).

— Uz nižu međufrekvenciju odstupanje u karakteristikama tranzistora manje je kritično.

Na osnovu ovih razloga usvojene međufrekvencije za UKV-prijemnik jesu 10,7 MHz i 6,75 MHz.

92. — Promatranja provedena u AM pojačalima mogu se u cijelosti primijeniti i na FM pojačalima, sve do pobudnog stupnja za ratio-detektor. Ovisno o vrsti spoja tranzistora određuju se ulazni i izlazni otpori. Gotovo je pravilo jedino to da tranzistor pred ratio-detektorom radi u spoju sa zajedničkom bazom.

Usporedimo međufrekventna pojačala od 10,7 MHz u spoju sa zajedničkom bazom i u spoju sa zajedničkim emiterom! Spoj sa zajedničkom bazom ima izvjesne prednosti:

— Kapacitet kolektor-emiter, tj. kapacitet povratnog djelovanja, manji je u spoju baze nego u spoju emitera, iznosi 0,5 pF prema 2 pF uz iste radne uvjete, na primjer U_{cc} = 6 V i I_c = 0,5 mA. Zbog toga je utjecaj povratnog djelovanja manji, tako da u slučaju neutralizacije, ako je ona uopće i nužna, nije potrebno uzimati u obzir odstupanja u karakteristikama tranzistora.

— Promjene ulaznog otpora u spoju baze znatno su manje nego u spoju emitera, iznose samo nekoliko postotaka prema + 100% do —50%. Ulazni je otpor, naime, u spoju baze praktički jednak recipročnoj vrijednosti strmine, a kako je međufrekvencija relativno niska u odnosu na graničnu frekvenciju tranzistora, na primjer za tranzistore OC 614 i OC 170 iznosi 30 MHz, a za OC 169 je 15 MHz, utjecaj strmine još uvijek je neznatan.

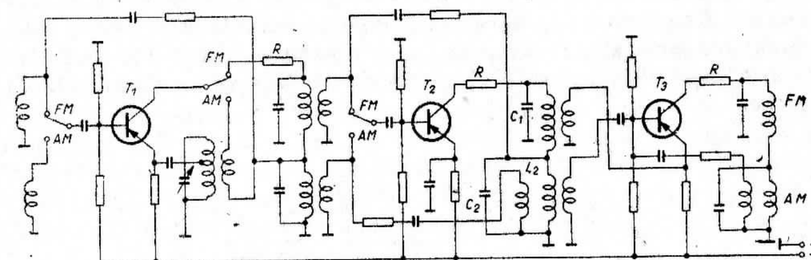
— Zbog manjeg kapaciteta povratnog djelovanja stabilnost je počala u spoju baze, uz jednako pojačanje napona po stupnju, nekoliko puta veća nego u spoju emitera.

I stupanj sa zajedničkim emiterom ima međutim izvjesne prednosti.

— To je prvenstveno veće pojačanje napona, koje je oko tri puta veće nego u spoju baze, i veći ulazni otpor: 500 Ω prema 50 Ω.

— Postizanje veće selektivnosti omogućeno je slabom vezom između slijedećeg stupnja i pojasnog filtra, čime se pojačanje može dovesti sve do vrijednosti pojačanja u spoju baze. Slabom vezom smanjuje se u isti mah i utjecaj promjena ulaznog otpora, i omogućuje dobra neutralizacija. Za proračun može se tada uzeti srednja pogonska dobrota krugova $Q = \sqrt{Q_1 \cdot Q_2}$.

Stabilnost pojačala sa zajedničkim emiterom može se poboljšati upotrijebi li se umjesto 10,7 MHz međufrekvencija 6,75 MHz.



Slika 125.
MF-pojačalo AM/FM prijemnika

Na sl. 125 prikazana je principijelna shema međufrekventnog pojačala koje je predviđeno za AM-prijem i FM-prijem. Tranzistor T_3 radi za AM-prijem u spoju sa zajedničkim emiterom, a za FM-prijem u spoju sa zajedničkom bazom. Neutralizacija je provedena samo u slučaju AM-prijema; ako se međutim koriste drift-tranzistori, kao OC 169, može ona i ovdje biti izbjegnuta. Tranzistor T_2 radi i za AM-prijem i za FM-prijem u spoju sa zajedničkim emiterom, pa je stoga potrebno u oba slučaja provesti neutralizaciju. Nezgodna je strana ovog sklopa ta što je u MF pojačalu potreban preklopnik, pa se koriste drukčije izvedbe.

Kombinirani međufrekventni stupnjevi

93. — Prijemnici koji imaju samo UKV područje grade se vrlo rijetko. Zbog ekonomičnosti kombinira se u pravilu nekoliko valnih područja, koja obuhvaćaju i AM-prijem i FM-prijem. U AM-prijemu

širina pojasa prijemnika, dopuštena međunarodnom konvencijom, iznosi 9 kHz, a međufrekvencija se nalazi između 452 kHz i 482 kHz, dok je širina pojasa u FM prijemu znatno veća, 200 kHz, a međufrekvencija 10,7 MHz. Dvije različite međufrekvencije zahtijevaju, jasno, i različite titrajne krugove. To se može izvesti tako da se i za AM prijem i za FM prijem izvedu odvojeni kanali, no takva je izvedba prilično skupa, pa se umjesto nje izvode kombinirani međufrekventni spojevi.

Kompletan će prijemnik prema tome izgledati ovako:

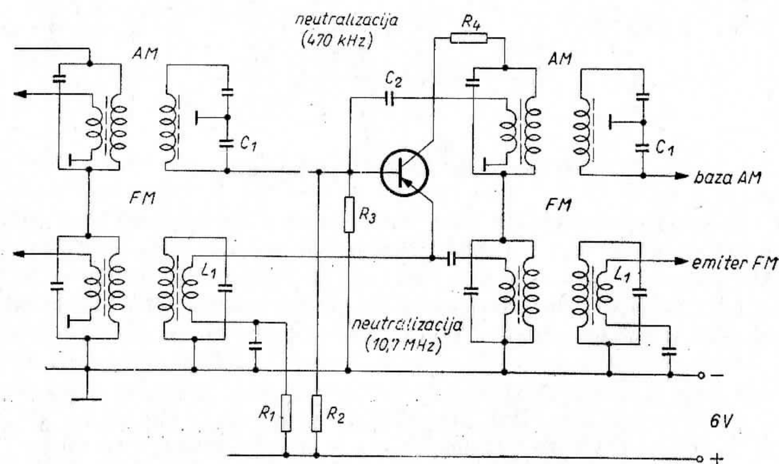
— Stupnjevi za miješanje AM-a i FM-a su odvojeni, FM osim toga ima i ulazno visokofrekventno pojačalo.

— Međufrekventni titrajni krugovi vezani su serijski

— Demodulacija se vrši odvojeno. Iz posljednjeg međufrekventnog stupnja dolazi signal ili na FM demodulator ili na AM demodulator.

— Niskofrekventni stupnjevi su zajednički.

Da bi se izbjeglo prespajanje u međufrekventnim titrajnim krugovima, oni se spajaju u seriju. U FM prijemu kapacitet je AM titrajnog kruga tako velik da predstavlja kratak spoj za međufrekventni FM signal, dok svitak kruga od 10,7 MHz kratko spaja AM međufrekvenciju na masu. Ako je za spojeve potrebno provesti neutralizaciju, isto bi tako prespajanje neutralizacijske grane pri mijenjanju AM i FM područja pogoršalo stabilitet pojačala zbog parazitnih kapaciteta preklopnika i dovoda.



Slika 126.
Kombinirani AM/FM međufrekventni stupanj. Za AM (470 kHz) tranzistor radi u spoju sa zajedničkim emiterom, a za FM (10,7 MHz) u spoju sa zajedničkom bazom

Na sl. 126 prikazana je izvedba kombiniranog međufrekventnog stupnja, gdje tranzistor za AM prijem (470 kHz) radi u spoju sa zajedničkim emiterom, a za 10,7 MHz u spoju sa zajedničkom bazom. Svitak L_1, koji sačinjava krug za 10,7 MHz, a sastoji se od 1—2 zavoja, predstavlja za 470 kHz kratak spoj. Kapacitet* C_1 služi za prilagođenje ulaznog otpora tranzistora sekundarnom krugu AM pojasnog filtra. Preko kapaciteta C_1, čija veličina iznosi 10 nF, baza je tranzistora uzemljena za frekvenciju 10,7 MHz.

Otpornik R_4 sprečava skok napona u kolektorskom krugu. Naime, u titrajnom se krugu može upotrijebiti samo mali kapacitet, 15—40 pF, a kako porastom izmjeničnog napona kolektora raste i dinamički kapacitet kolektora, rezonantna se frekvencija titrajnog kruga pomiče prema nižim frekvencijama. Ugađanjem prijemnika prema nižem području povisuje se rezonantna frekvencija kruga, zbog smanjenja izmjeničnog napona kolektora, i time se naglo izazvani pad napona čuje uz prijemni signal kao prasak.

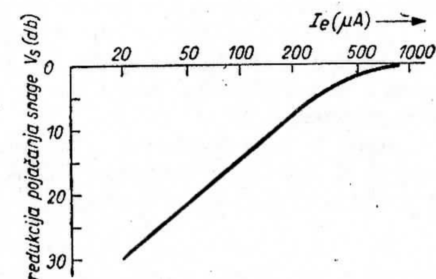
Praktička vrijednost otpora R_4 iznosi u prednjim MF stupnjevima 250 Ω, dok se u posljednjem kreće oko 500 Ω.

Automatska regulacija pojačanja

94. — Potrebna velika osjetljivost prijemnika zahtijeva provođenje automatske regulacije pojačanja u visokofrekventnom dijelu prijemnika, kako kod prejakog ulaznog signala ne bi došlo do preuzbude.

U prijemnicima s cijevima automatska je regulacija pojačanja (ARP) postignuta s elektronkom koja ima promjenljivu strminu. U tranzistorima takav element nažalost ne postoji, pa treba da se primijene drugi načini. Ipak, i u tranzistorskim prijemnicima, kao i u elektronskim, pojačanje je napona regulirano pomakom radne tačke.

Uobičajen je način ARP promjenom struje emitera. Iako ova promjena izaziva promjenu ostalih tranzistorskih veličina, ulaznog i izlaznog otpora, smanjuje emiterske struje općenito smanjuje pojačanje. Na sl. 127 prikazan je utjecaj struje emitera na pojačanje snage visokofrekventnog tranzistora. U jednostavnijim je prijemnicima dovoljna ARP prvog međufrekventnog stupnja. Princip je



Slika 127.
Krivulja na slici prikazuje ovisnost pojačanja snage V_s o struji emitera za drift tranzistor 2N247

* Veza titrajnog kruga na ulazni krug slijedećeg tranzistora može se izvesti i na kapacitivnoj strani. Ulazni otpor slijedećeg stupnja transformiran u titrajni krug, dan je relacijom $R_u' = \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right)^2 R_u$, gdje je R_u ulazni otpor tranzistora C_1 i C_2 serijski spojeni kapaciteti kruga.

rada te metode ovaj: napon regulacije uzima se s demodulatorske diode i njegova vrijednost u PNP-tranzistorima mora da bude pozitivna, kako bi djelovao protivno negativnom naponu baze. Time se smanjuju napon i struja baze i struja emitera, što pak uzrokuje smanjenje pojačanja stupnja. Što je signal na demodulatoru veći, to će i napon regulacije biti veći.

Shema na sl. 120 prikazuje često upotrebljavani spoj regulacije. Napon regulacije odvodi se s demodulatorske diode (OA 70) preko $R_8 C_8$ — filtra na bazu tranzistora T_1 (OC 169), koji u stanju mirovanja dobiva stalan prednapon preko otpornika $R_1 — R_8 — R_9$.

U stupnju gdje je provedena stabilizacija kolektorske struje potrebno je za regulaciju mnogo više snage nego u nestabiliziranom stupnju.

Da bismo postigli dobru stabilizaciju snagom dobivenom iz demodulatora, istosmjerna stabilizacija kolektorske struje ne smije da bude prevelika. Dakle, veličina kolektorskog otpora ne smije prijeći određenu vrijednost. I veličina otpora regulacije R_8 predstavlja kompromisno rješenje: veći otpor smanjuje djelovanje regulacije, a malen prigušuje demodulatorski krug. ARP je efikasnija kad se koriste tranzistori s većim faktorom strujnog pojačanja Često se događa da demodulator ne daje dovoljno snage za regulaciju. U tom se slučaju veće pojačanje istosmjernog napona potrebnog za regulaciju postiže upotrebom istosmjernog pojačala iza detektora. Za tu se svrhu može upotrijebiti prvi stupanj niskofrekventnog pojačala, koje je ujedno izmjenično i istosmjerno pojačalo. Nedostatak je opisanog načina regulacije pojačanja u tome, što se smanjivanjem napona baze povećava ulazni i izlazni otpor tranzistora u kojem je regulacija provedena. Veći ulazni otpor manje prigušuje prethodni titrajni krug i povećava faktor kvalitete, pa kod prijema jakih stanica nastupa nepoželjno sužavanje propusnog područja.

U mnogim slučajevima nije dovoljna regulacija samo jednog stupnja, jer kod jakih signala dolazi do preuzbude stupnja za miješanje i napon baze prvog međufrekventnog stupnja postaje tako velik da nastaje jako izobličenje.

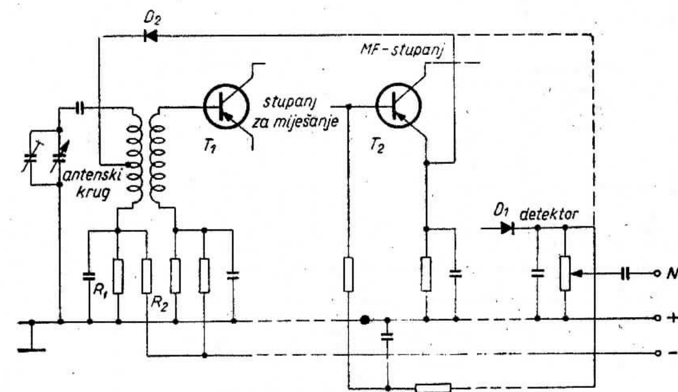
ARP se ne primjenjuje u stupnju za miješanje, budući da zbog prevelikog smanjenja emiterske struje može doći do prekida oscilacije ili pomicanja frekvencije oscilatora.

95. — Regulacija samo jednog stupnja ne zadovoljava potpuno i stoga se u tranzistorskim prijemnicima ovaj način često kombinira s drugima. Jedan je od njih mijenjanje gušenja međufrekventnog titrajnog kruga pomoću promjenljiva otpora, na primjer germanijevih dioda, čiji je unutarnji otpor jako ovisan o istosmjernom naponu.

Promotrimo rad takve regulacije! Povećanjem amplitude visokofrekventnog signala povećava se signal na demodulatoru, napon baze tranzistora T_1 (sl. 120) postaje pozitivniji, i time se smanjuje struja emitera i kolektora, kao i pojačanje stupnja. U kolektorskom je krugu tranzistora T_1 (OC 169) vezan otpor R_3, na kojem se prilikom regulacije vrše znatne promjene napona. Sada je tranzistor T_1 u stvari i istosmjerno

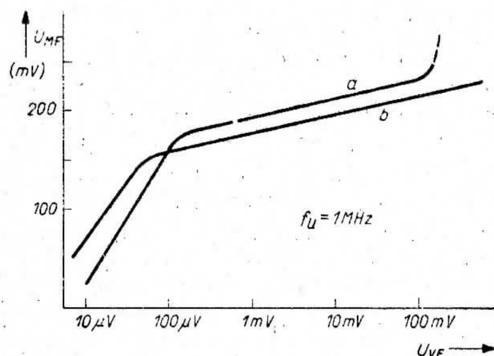
pojačalo. Napon regulacije za diodu može se uzimati s otpora R_3 ili s emiterskog otpora. Druga je dioda D_2 (OA 79) vezana između tačaka *A* i *B*: Dok nema signala, ili dok su oni vrlo mali, otpornikom se R_1 napon tačaka *A* i *B* tako odabere da je dioda spojena u zapornom smjeru. Veličina ovog napona kreće se od 0,5 V do 1 V. U ovom je slučaju otpor diode tako velik da dioda ne prigušuje titrajni krug. Pri jakom signalu ti se odnosi međutim mijenjaju. Uz velik signal na detektoru struja je baze, a time i struja kolektora, mala, pa napon tačke B postaje negativniji, a dioda vodljivom, i sa svojim malim otporom prigušuje titrajni krug. Otpor diode, a prema tome i gušenje kruga, varira s istosmjernim naponom tako da se pri većim signalima smanjuje i uzrokuje veće gušenje kruga. Otpor pojedinih vrsti dioda kreće se u području regulacije između 1 MΩ i 100 Ω. Izmjenični međufrekventni napon na titrajnom krugu koji je premošten diodom ne smije ipak da bude prevelik, kako zbog nelinearne karakteristike diode ne bi došlo do intermodulacionog izobličenja koje može nastati između dva susjedna signala.

Regulacija stupnja za miješanje postignuta je na sličan način — gušenjem ugođenog antenskog kruga diodom, kojoj se kod određenog nivoa signala smanjuje otpor. Shematski je takva izvedba prikazana na sl. 128. Napon diode određen je otporima u djelitelju napona $R_1 — R_2$, a



Slika 128.
Shematski prikaz ARP u stupnju za miješanje. Istosmjerne snage regulacije dobivene u detektoru pojačana je u prvom MF-tranzistoru, čija se radna tačka mijenja promjenom struje baze

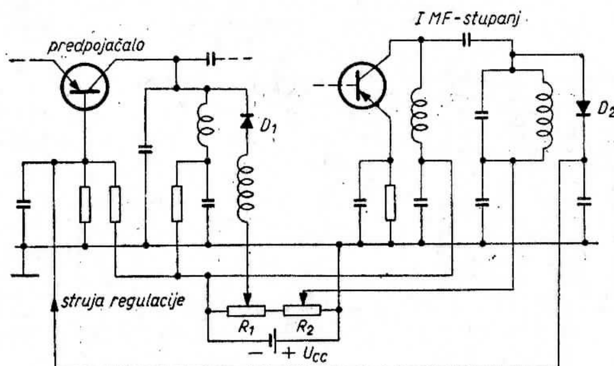
napon regulacije dovodi se demodulatorom (vidi crtkanu liniju) koji je, ako njegova veličina nije dovoljna, pojačan u istosmjernom pojačalu. Korištenjem prvog međufrekventnog tranzistora u ovu svrhu izbjegnuto je dodavanje još jednog tranzistora.



Slika 129.
ARP u prijemniku. Krivulja a dobivena je uz provedenu regulaciju samo prvog MF-stupnja; b) regulacija je dvostruka: djeluje na ulazni i prvi MF-stupanj

Dijagram na sl. 129 prikazuje krivulje regulacije. U slučaju dvostruke regulacije ARP je još djelotvorna za visokofrekventni napon iznad 1 V. Ako se regulira samo prvi međufrekventni stupanj, već se s ulaznim signalom većim od 50 mV onemogućuje ispravan prijem.

Regulacija u FM krugovima. I u UKV prijemniku poduzete su mjere da bi se spriječilo preopterećenje uz jake signale. Takav je sklop prikazan na sl. 130. Ugođenom titrajnom krugu u kolektoru prvog međufrekventnog stupnja paralelno je spojena dioda D_2 koja dobiva prednapon preko djelitelja napona $R_1 - R_2$. Dioda djeluje kao regulacioni ispravljač, čija struja regulira visokofrekventno pretpojačalo. Paralelno s ti-



Slika 130.
ARP u FM-prijemniku. Dioda D_1 spojena je paralelno ugođenom titrajnom krugu u kolektoru pretpočala. Dioda dobiva prednapon preko djelitelja R_1R_2 i djeluje na način prikazan na slici 128. Struja regulacije dobivena je iz diode D_2

trajnim krugom u kolektoru ovog tranzistora vezana je druga dioda D_1, čiji je napon također određen otporima R_1 i R_2. Nivo je ovog napona reguliran strujom koja djeluje na bazi prvog tranzistora. Dioda D_1 sprečava dolaženje prejakog signala u stupanj za miješanje.

Pitanja

54. Kako se mijenja pojačanje snage tranzistora s porastom frekvencije?
55. Kakove su izvedbe tranzistorskih međufrekventnih transformatora?
56. Zašto se MF-pojačalo u kvalitetnijem prijemniku izvodi sa pojasnim filterom?
57. Da li je kod svih tranzistora u MF-pojačalu neophodna neutralizacija?
58. Navedi prednosti i mane međufrekventnog pojačala za FM-prijemnik izvedenog s tranzistorima u spoju sa zajedničkim emiterom!
59. Na koji se način izvode kombinirani AM-FM međufrekventni dio prijemnika?
60. Navedi načine kojima se vrši automatska regulacija pojačanja u prijemnicima!

Tranzistorski stupnjevi za miješanje

Tranzistorski oscilatori

96. — Kao i elektronke, i tranzistori se mogu primjenjivati u oscilatorima. Pri konstrukciji tranzistorskih oscilatora susrećemo se sa sličnim problemima kao i kod elektronki. To se ne očituje samo u analogiji različitih vrsti spojeva cijevnih i tranzistorskih oscilatora, već i u određivanju uvjeta osciliranja i frekvencije oscilatora.

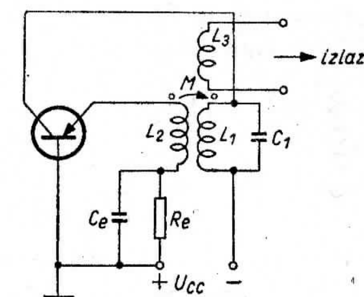
Vrlo je važna činjenica, o kojoj moramo voditi računa pri izvedbi tranzistorskih oscilatora, da pri višim frekvencijama parametri tranzistora nisu realne veličine, već kompleksne, tj. ovisne o frekvenciji. Zbog toga je, radi li se uz više frekvencije, potrebno uzeti u obzir fazni pomak i smanjenje faktora strujnog pojačanja, a isto tako i reaktivne komponente ulazne i izlazne impedancije. Temperaturna stabilizacija treba da se provede naročito brižljivo prema jednom od načina prikazanih u prijašnjim odsjecima.

Analiza oscilatora normalno je podijeljena u dva dijela: određivanje stanja u kojem dolazi do oscilacije i određivanje frekvencije.

Uvjet za osciliranje ispunjen je i ovdje uz $V_i \beta = 1$, gdje je V_i strujno pojačanje.

Frekvencija oscilatora određena je titrajnim krugom ili *RC*-elementima u krugu pozitivne povratne veze. Budući da se u prijemnicima koriste isključivo oscilatori s titrajnim krugom, obradit ćemo ukratko nekoliko spojeva.

97. — Na sl. 131 prikazan je oscilator s *usklađenim titrajnim krugom u kolektoru i tranzistorom u spoju sa zajedničkom bazom.*

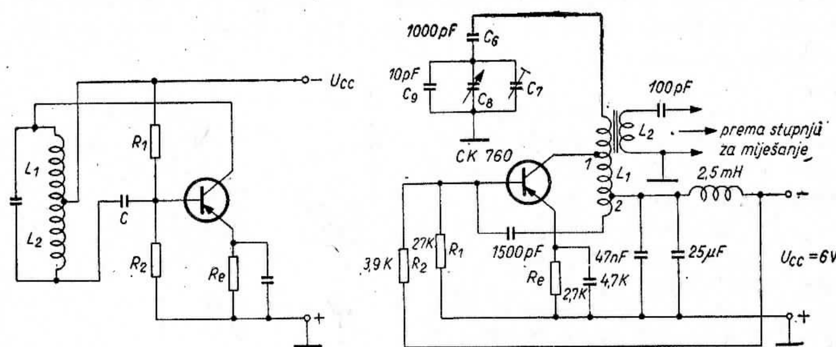


Slika 131.
Principijelna shema oscilatora sa titrajnim krugom u kolektoru s tranzistorom u spoju zajedničke baze

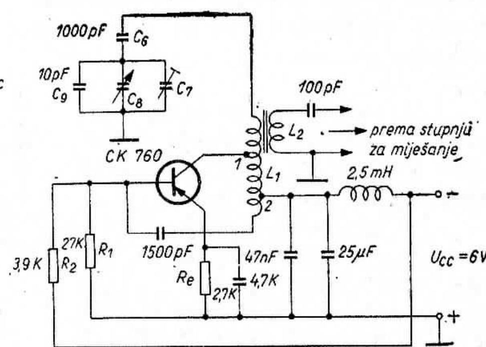
Povratna veza u krugu emitera ostvarena je transformatorskim spojem između namotaja L_1 i L_2 (L_1 i L_2 su čvrsto vezani). Svitak L_1 sačinjava s kondenzatorom C_1 titrajni krug, koji je u stvari kolektorski opteretni otpor. Transformatorska veza ujedno omogućuje prilagođenje emitera na titrajni krug. Da bi se pri višim frekvencijama izbjegao fazni pomak unutar tranzistora, frekvencija titrajnog kruga treba da je mala prema graničnoj frekvenciji tranzistora.

U tom je spoju opterećenje titrajnog kruga minimalno zbog ovih razloga: titrajni krug spojen je u seriju s kolektorom, spoj s uzemljenom bazom ima veliku izlaznu impedanciju i potrošač je preko slabo vezanog namotaja L_3, ili u seriji s malim kapacitetom, spojen na kolektor. U ovim su uvjetima frekventna stabilnost i čistoća valnog oblika vrlo dobri. Frekvencija oscilatora, određena elementima titrajnog kruga, izračunava se iz izraza $\omega_0^2 = \frac{1}{L_1 C_1}$, a uvjet za osciliranje u slučaju slabe veze između emitera ispunjen je uz $\omega_0 M > R_u/Q \cdot \alpha_b$. M označava međuinduktivitet između namotaja, R_u efektivnu ulaznu impendanciju tranzistora, a $Q = \frac{R_p}{\omega_0 L}$, gdje je R_P paralelno priključen otpor titrajnom krugu. U slučaju čvrste veze između namotaja L_1 i L_2 taj uvjet jest $V_u \frac{z_2}{z_1} > 1$, gdje je V_u naponsko pojačanje tranzistora.

98. — Oscilator, kojeg je principijelna shema prikazana na sl. 132, u stvari verzija prije opisanog oscilatora, samo sada za tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom — jest *Hartleyev oscilator*. Napon dobiven na dijelu zavojnice L_2 privodi se preko kapaciteta C bazi i na taj je način postignuta pozitivna reakcija. Frekvencija oscilatora dana je sa $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, gdje je $L = L_1 + L_2 + 2\,M$, dok je uvjet za osciliranje u slučaju slabe veze ispunjen uz $\omega_0 M > R_{ue}/Q\,\alpha_e$, gdje je R_{ue} ulazni otpor tranzistora. U slučaju čvrste veze između zavojnica uvjet za osciliranje treba da je ispunjen uz $V_u Z_2/Z_1 > 1$.



Slika 132.
Hartleyev oscilator



Slika 133.
Praktički primjer Hartleyeva oscilatora sa tranzistorom CK760

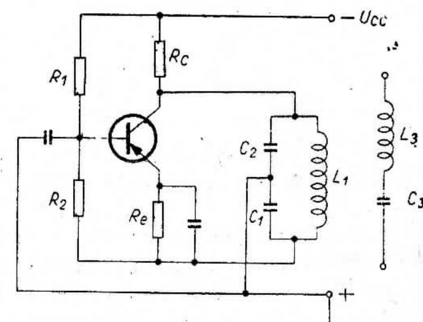
Na sl. 133 dana je shema takva oscilatora s tranzistorom CK 760. Dio napona oscilatora dobiven na dijelu zavojnice L_1 vraća se preko kondenzatora od 1500 pF na bazu tranzistora — to je, dakle, put pozitivne

reakcije. Kolektor je preko odvojka transformacijom na niže spojen s titrajnim krugom i na taj je način postignuto prilagođenje impedancije tranzistora i titrajnog kruga, i smanjen utjecaj kolektorskog kapaciteta na stabilan rad oscilatora. Kondenzatori C_6 i C_7 jesu trimer i pading-kondenzator, a služe za ugađanje oscilatora i postizanje jednolikog hoda između ulaznog i oscilatorskog kruga. Namotaj L_2 koristi se za priključivanje potrošača. Radna tačka i temperaturna stabilizacija provedene su otporima R_1, R_2 i R_e.

99. — Na sl. 134 prikazan je tranzistorski *Colpittsov oscilator*. Napon pozitivne reakcije dobiva se iz kapacitivnog djelitelja napona, koji s induktivitetom L_1 sačinjava titrajni krug, i privodi se bazi. Frekvencija je oscilatora određena rezonantnom frekvencijom kruga $\omega_0^2 = \frac{1}{L_1 C_s}$, gdje je $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, dok za uvjet osciliranja vrijedi približno $V_u\,C_1/C_2 > 1$.

Otporima R_1, R_2, R_c i R_e određena je radna tačka i provedena stabilizacija sklopa.

Zamijenimo li induktivnu granu u Colpittsovu oscilatoru serijskim titrajnim krugom koji se sastoji od induktiviteta L_3 i kapaciteta C_3, dobijemo *Clappov oscilator*. Frekvencija oscilatora ω_0 nalazi se nešto iznad rezonantne frekvencije serijskog kruga, a uz veće vrijednosti C_1 i C_2 nasuprot C_3 gotovo je jednaka rezonantnoj frekvenciji ω_s.



Slika 134.
Colpittsov oscilator i modifikacija dana za Clappov oscilator

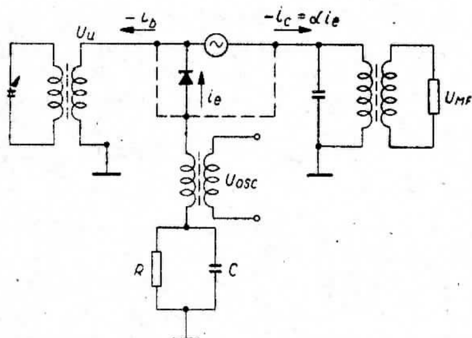
Ovim je stupnjem, za razliku od ostalih, postignuta veća stabilnost rada. Relativno velike vrijednosti C_1 i C_2 čine utjecaj kolektorskog kapaciteta zanemarivo malenim, a osim toga potpuno odstranjuju utjecaj kolektorske struje na frekvenciju oscilatora. Promjene izlaznog kapaciteta stoga relativno malo utječu na frekvenciju oscilatora.

Miješanje u tranzistorskim prijemnicima

100. — Budući da tranzistor ima samo jednu upravljačku elektrodu, u tranzistorskim prijemnicima, za razliku od prijemnika s elektronkama u kojima je miješanje multiplikativno, imamo aditivno miješanje. Ulazni signal iz antenskog kruga i signal oscilatora serijski su vezani između emitera i baze. Kako je za miješanje potreban nelinearan element, zahvaljujući upravo takvoj karakteristici u krugu emiter-baza koristi se tranzistor za aditivno miješanje. Principijelna shema prikazana je na sl. 135. Suma ulaznog i oscilatorskog napona dovedena na diodu

sadrži i međufrekventnu komponentu koja je pojačana i izdvojena na selektivnom titrajnom krugu. Preko *RC*-člana s velikom vremenskom konstantom u emiterskom krugu dobiva emiterska dioda prednapon, čija je vrijednost približno jednaka veličini oscilatorskog napona.

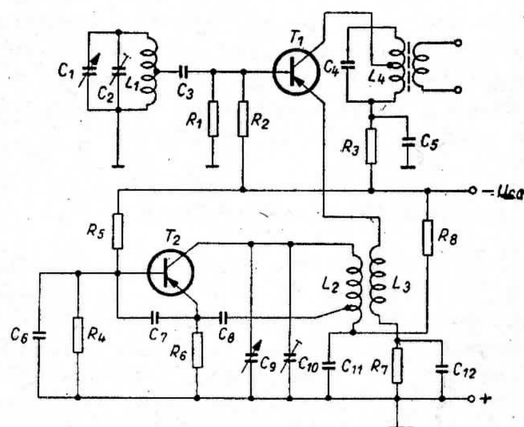
Pojačanje u stupnju dobije se na ovaj način: međufrekventna struja diode $-i_c = \alpha_b \cdot i_e$ (gdje je α_b približno jednak jedinici) stvara na velikom otporu međufrekventnog kruga veći napon u kolektorskom krugu.



Slika 135.
Principijelna shema stupnja za miješanje

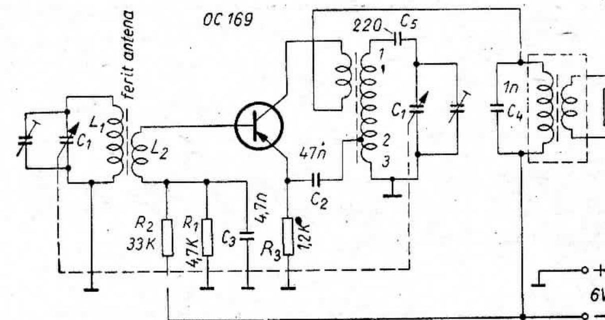
101. — Oscilator može da bude ili poseban tranzistor, ili je isti tranzistor upotrebljen istovremeno za oscilator i za miješanje. Pravilnim dimenzioniranjem može se u oba slučaja postići jednako pojačanje miješanja, uz isti odnos signal-šum. U stupnju za miješanje s posebnim oscilatorom jedina je bitna prednost to što veličina ulaznog signala ne djeluje na svojstva oscilatora, pa je moguće provođenje ARP, dok se u *samooscilirajućem stupnju* za miješanje ARP ne može provesti, budući da bi zbog smanjenja emiterske struje moglo doći do »seljenja« frekvencije oscilatora, ili do prekida oscilacija. Nasuprot ovoj prednosti međutim u takvu je sklopu potreban veći broj elemenata, i veća je potrošnja istosmjerne struje.

Na sl. 136 vidimo sklop stupnja za miješanje sa dva tranzistora. Tranzistor T_2 radi kao oscilator u Hartleyevu spoju, i induktivno je vezan s emiterskim krugom tranzistora za miješanje, čija je radna tačka u nelinearnom dijelu karakteristike, pa dolazi do detekcije signala. Radna je tačka stabilizirana otporima R_1—R_8. Usprkos navedenim nedostacima ipak se zbog jeftinije izvedbe mnogo više koristi stupanj sa jednim tranzistorom.



Slika 136.
Stupanj za miješanje s posebnim oscilatorom

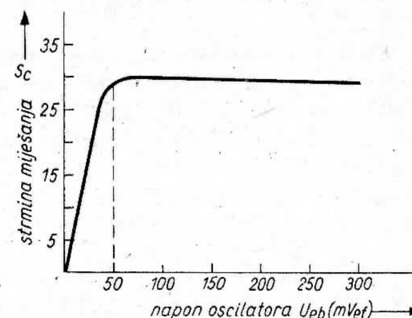
102. — *Samooscilirajući stupanj za miješanje* (OC 169) za srednjevalno i dugovalno područje, prikazan na sl. 137, ima široku primjenu u prijemnicima. Između baze i emitera djeluje suma ulaznog visokofrekventnog i oscilatorskog napona, i oba se istovremeno pojačavaju. Za ulaznu frekvenciju tranzistor radi kao pojačalo s uzemljenim emiterom, tj. u spoju najboljih svojstava pojačanja. Oscilator je pak izveden s induktivnom povratnom vezom u spoju sa zajedničkom bazom. Baza je, naime, preko kondenzatora C_3 i sekundarne zavojnice na feritnom štapu uzemljena za frekvenciju oscilatora.



Slika 137.
Samooscilirajući stupanj za miješanje (SV, DP)

Da bi se osigurao rad oscilatora i stabilnost frekvencije, povratna je veza ostvarena spajanjem emitera preko niskoomskog odvojka na titrajni krug oscilatora, koji na taj način nije prigušen malim otporom emitera. S otpornicima R_1, R_2 i R_3 određena je radna tačka i izvedena stabilizacija. Otpornik R_3 premošten je kondenzatorom C_2, kako bi se izbjeglo smanjenje pojačanja izmjenične struje je pading-kondenzator.

Promjena *strmine miješanja* S_c, ovisna o naponu oscilatora, dana je za tranzistor OC 170 ($I_c = 1$ mA, $f_u = 540$ kHz, $f_{os} = 1$ MHz, $f_{MF} = 460$) dijagramom na sl. 138. Sličan tok krivulje vrijedi i za ostale tranzistore. Strmina se miješanja iznad 50 mV malo povećava, pa je stoga potrebno oscilator tako dimenzionirati, da mu je napon veći od 50 mV. Da bi prijemnik radio jednoliko, potrebno je da se nakon oscilatora unutar određenog valnog područja ne mijenja mnogo.



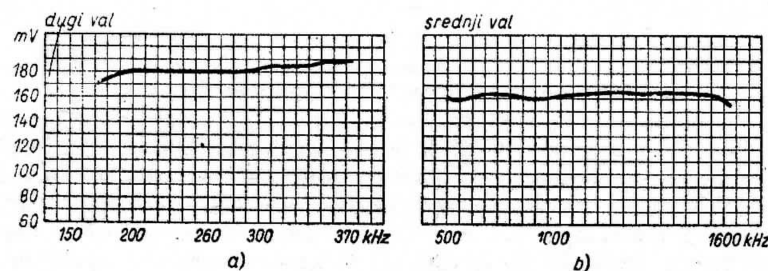
Slika 138.
Strmina miješanja mijenja se s naponom oscilatora

Pri dimenzioniranju treba isto tako paziti da napon oscilatora ne bude prevelik, što bi zbog viših harmonika moglo na izvjesnim frekvencijama dovesti do osciliranja čitavog stupnja, ali ne smije da bude ni premalen, jer na nižim naponima baterije može doći do prekida oscilacija. Brojevi zavoja i vrst žica oscilatorskih zavojnica srednjeg i dugog vala dani su u tablici 4, a odnose se na prijemnik prikazan u shemi sl. 147.

Tablica 4.

SV	L_5 (1—3) 105 zav. (2—3) 5 „	L_7 : 20 zavoja	VF pleten. 10 × 0,05
DV	L_6 (1—3) 237 zav. (2—3) 10 „	L_8 : 9 zavoja	žica Cu L S 0,1

Napon oscilatora mjeren uz napon baterije 6V dan je dijagramom na sl. 139. Vidi se da je amplituda oscilatorskog napona približno konstantna unutar cijelog valnog područja.



Slika 139.
Promjena napona oscilatora s frekvencijom unutar područja srednjeg i dugog vala

Praksa je pokazala da kondenzator C_3 koji uzemljuje sekundarnu antensku zavojnicu znatno utječe na ulazni i izlazni otpor tranzistora. Povećanjem kapaciteta C_3 ulazni se i izlazni otpor povećavaju, a iznad određene vrijednosti izlazni otpor postaje negativan, i prema tome raste pojačanje miješanja. Primjenjuje li se ARP, kondenzator C_3 treba da bude pažljivo odabran, kako ne bi došlo do osciliranja stupnja. Utvrđeno je da se najpovoljnija vrijednost kondenzatora kreće oko 5 nF.

103. — Veoma važne veličine tranzistora, potrebne za određivanje radnih uvjeta samooscilirajućeg stupnja za miješanje, jesu: *strmina miješanja* S_c, *ulazni otpor tranzistora* uz frekvenciju ulaza i *izlazni otpor* tranzistora za međufrekvenciju.

Svojstva stupnja za miješanje određena su *pojačanjem miješanja* V_{sc}, *koje je dano odnosom snaga dobivenih na ulaznom otporu prvog međufrekventnog tranzistora prema snazi koju antenski krug daje*

stupnju za miješanje. Zanemarimo li povratno miješanje i prilagođenje ulaza, pojačanje je miješanja u idealnom slučaju dano izrazom

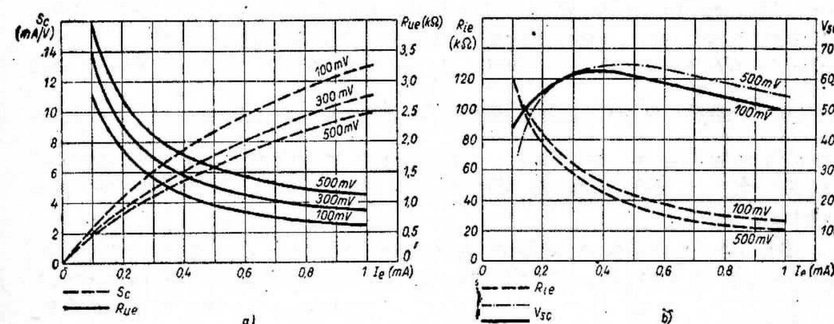
$$V_{sc} = \frac{S_c^2 \cdot R_{ue} R_{ie}}{4} \quad \ldots \ldots \quad (60)$$

Uzmemo li u obzir gubitke u titrajnim krugovima, bit će

$$V_{sc} = \frac{S_c^2 R_{ue} R_{ie}}{4}\left(1 - \frac{B_0}{B_1}\right) \quad \ldots \ldots \quad (61)$$

gdje je B_0 širina pojasa neopterećena titrajnog kruga, a B_1 pogonska širina kruga.

Veličina S_c, R_{ue} i R_{ie} ovisne su o radnoj tački, pri čemu emiterska struja i napon oscilatora najjače utječu na njih, a prema tome i na pojačanje miješanja. Sl. 140 pokazuje ovisnost strmine miješanja S_c, ulaznog otpora R_{ue}, izlaznog otpora R_{ie} i pojačanja miješanja tipičnog tranzistora, o emiterskoj struji, s oscilatorskim naponom kao



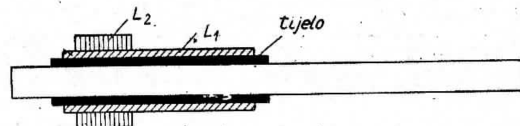
Slika 140.
a) Krivulje na slici pokazuju kako se mijenja strmina mješanja S_c i ulazni otpor R_{ue} tranzistora sa strujom emitera I_e uz napon oscilatora kao parametar, b) Krivulje se odnose na pojačanje miješanja V_{sc} i izlazni otpor R_{ie} uz iste uvjete kao i gore

parametrom. Mjerenja su vršena pri frekvenciji f_u = 1MHz i f_{MF} = 470 kHz, uz U_c = 6 V. S porastom emiterske struje raste i strmina miješanja, a smanjuje se izlazni i ulazni otpor. Vidi se da veličina napona oscilatora nije kritična za optimalno pojačanje V_{sc}, ali je ulazni otpor tranzistora jako ovisan o njoj. Struja emitera djeluje i na nivo šuma. Uz veće struje šum raste, dok je najniži za vrijednost struje između 0,3—0,5 mA. Pojačanje miješanja kreće se za prikazani sklop na srednjem valu od 32 dB do 35 dB, a od 34 dB do 37 dB na dugom valu.

104. — U tranzistorskim je prijemnicima vrlo dobre rezultate pokazao prijem pomoću *feritne antene*, čiji induktivitet čini s promjenljivim kondenzatorom ulazni titrajni krug. Svrha je usklađenog kruga

na feritnom štapu da što više primljene energije prenese na ulazni krug tranzistora.

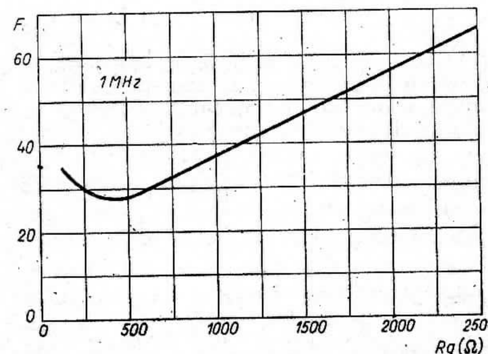
Feritna antena djeluje u stvari kao okvirna antena, ali je zbog toga što je malena mnogo pogodnija za smještaj u prijemnik. Sastoji se od feritna štapa, čije dimenzije ovise o primjeni. Na štapu su namotane zavojnice koje s ulaznim kondenzatorom čine titrajni krug, sl. 141.



Slika 141.
Feritni štap sa ulaznim krugom

Svojstva feritne antene prikazana su ili efektivno-apsorpcionom površinom (odnos primljene energije prema odaslanoj), ili njenom efektivnom visinom. Da bi se dobila što veća snaga, a time i što veći napon na ulazu tranzistora, mora se otpor isijavanja antene prilagoditi ulaznom otporu tranzistora. Ulazni titrajni krug mora stoga da ima što manje gubitke. Dobiveni prijenosni odnos jest $n = \sqrt{\frac{R_u}{R_a}}$, gdje je R_u ulazni otpor tranzistora za miješanje, mjeren pri frekvenciji ulaznog signala (za SV $f_u = 1$ MHz), a R_a dinamički otpor ulaznog kruga za istu frekvenciju.

Pri dimenzioniranju ulaznog kruga moramo međutim, uz prilagođenje ulaznog otpora tranzistora na rezonantni otpor titrajnog kruga, što je potrebno za maksimalan prijenos snage, voditi računa i o tome da taj prijenos dobijemo s najpovoljnijim odnosom signal-šum. Dijagram na sl. 142 pokazuje ovisnost faktora šuma o otporu izvora za tranzistor OC 170 u stupnju za miješanje, i frekvenciji 1 MHz. Faktor šuma F određen je tipom tranzistora i unutarnjim otporom izvora koji je priključen tranzistoru. Transformacijom antenskog kruga na 500 Ω postiže se u našem slučaju najniži nivo šuma. Ulazni se krug veže s bazom prvog tranzistora iduktivno ili kapacitivno.



Slika 142.
Faktor šuma F u stupnju za miješanje ovisi o unutarnjem otporu generatora. Krivulja na slici mjerena pri frekvenciji 1 MHz dana je za tranzistor OC170

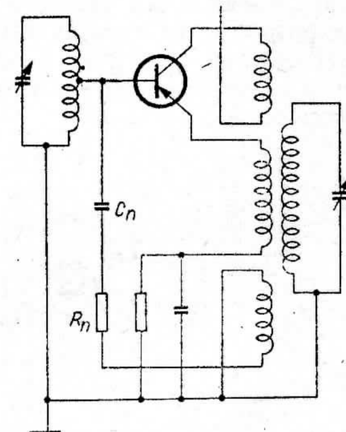
U tranzistorskim stupnjevima postoji problem *povratnog miješanja,* tj. dio međufrekventnog signala vraća se u ulazni krug i miješa s frekvencijom oscilatora i ulaza. Posljedica toga je promjena karakteristike tranzistora; ulazni i izlazni otpor raste, a prema tome i pojačanje snage, pa može doći do oscilacija na međufrekvenciji. Smanjenjem broja zavoja sekundarne zavojnice na feritnom štapu, te promjenom kapaciteta C_2 i C_3, smanjuje se i utjecaj povratnog djelovanja.

Budući da je tranzistorski prijemnik malih dimenzija, u donjem području srednjeg vala i gornjem području dugog vala dolazi zbog *povratne veze* između zadnjeg međufrekventnog kruga i feritne antene do oscilacija i nesimetrije propusne krivulje međufrekvencije (vidi odsjek 88). Ispravnim smještajem dijelova, oklapanjem i uzemljenjem, mora se povratna veza smanjiti ili ukloniti.

Zbog velikog kapaciteta prvog međufrekventnog titrajnog kruga (sl. 137) kolektor je bez odvojka priključen na krug. Podaci za prvi međufrekventni transformator dani su u tablici 3. Prijenosni odnos za prilagođenje otpora dobije se iz izraza $n = \sqrt{\frac{R_{ue}}{R_{ie}}}$ gdje je R_{ue} ulazni otpor prvog međufrekventnog tranzistora.

Stupanj za miješanje u kratkovalnom prijemniku

105. — U kratkovalnim prijemnicima upotrebljava se isti spoj za miješanje. Za tu se svrhu koriste tranzistori s višom graničnom frekvencijom (OC 614 i OC 170). Pri višim frekvencijama međutim, strmina više nije realna veličina, fazni joj se kut povećava, pa je već iznad 16 MHz teško izvesti stabilan oscilator. Budući da frekvencija signala leži u području kratkog vala vrlo blizu frekvenciji oscilatora, ulazni krug predstavlja impedanciju za oscilatorsku frekvenciju, tako da dolazi do povlačenja frekvencije oscilatora. To dolazi naročito do izražaja pri višim frekvencijama kratkovalnog područja, gdje je i fazni kut strmine veći. Da bi se utjecaj antenskog kruga na rad oscilatora smanjio potrebno je, kao i u međufrekventnom stupnju, provesti neutralizaciju (vidi odsj. 90). To je postignuto na način prikazan na sl. 143. S dodatnog se namotaja u krugu kolektora uzima napon oscilatora fazno pomaknut za 180° i preko



Slika 143.
Shema kratkovalnog samooscilirajućeg stupnja za miješanje. S dodatnog namotaja u krugu kolektora uzima se napon oscilatora fazno zaokrenut za 180° i preko C_N — R_N člana dovodi bazi. Neutralizacijom je smanjeno povlačenje oscilatora.

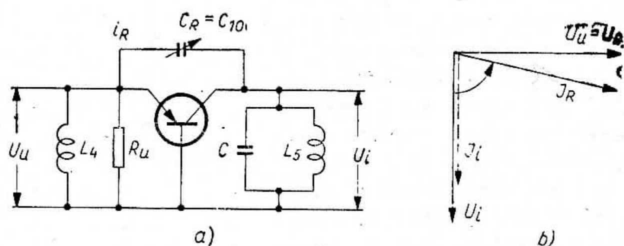
članova neutralizacije R_n i C_n (10 Ω, 100 pF) dovodi se na bazu tranzistora. Kako su elementi povratnog djelovanja frekventno ovisni, moramo neutralizaciju provesti u sredini područja, i to tako da je napon baze sveden na najmanju moguću vrijednost.

Pored toga potreba ARP-a daleko je veća u kratkovalnom području nego u području srednjeg ili dugog vala. Stoga se ispred stupnja za miješanje, gdje nije moguće provođenje regulacije, primjenjuje visokofrekventno pretpojačalo.

UKV stupanj za miješanje

106. — Pri visokim frekvencijama na UKV području radio-difuznog programa (87,5—100 MHz) ne mogu se više upotrijebiti obični spojevi oscilatora, jer *strmina* u tom području frekvencije *nije više realna veličina*, nego ima fazni pomak otprilike od 90°. Odmah će biti jasno da je za ovu svrhu najpogodniji spoj sa zajedničkom bazom. U tom je spoju naime povratno djelovanje pozitivno, dok je u spoju sa zajedničkim emiterom na ovom području frekvencija ono negativno, tako da je u spoju baze moguće osciliranje sa sasvim malim amplitudama, a u spoju emitera to se ne može ostvariti.

Kad u spoju baze ne bi bilo faznog pomaka strmine, izlazni bi i ulazni naponi morali da budu u fazi, i u tom slučaju ne bi bio potreban nikakav element za zakretanje. Međutim zbog *faznog pomaka strmine* on je ipak nužan. Spajanjem kondenzatora između kolektora i emitera unutarnje, (sl. 144a), povratno djelovanje, dovoljno je povećano, tako da je ispunjen uvjet osciliranja. To ćemo najlakše shvatiti prema vektorskom prikazu na sl. 144b.



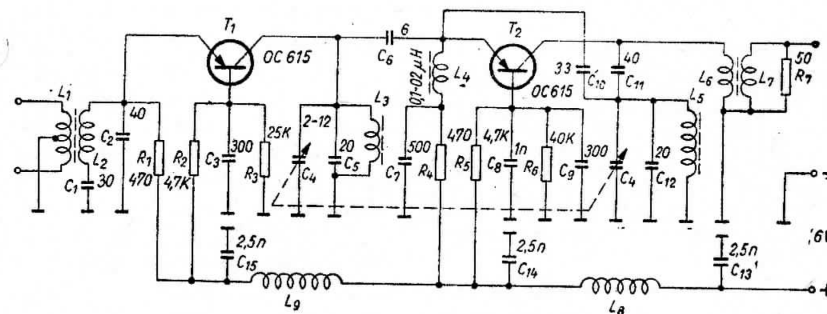
Slika 144.
a) UKV stupanj za miješanje, b) vektorski prikaz faznih odnosa

Označimo ulazni napon između emitera i baze sa U_u. Napon U_u izaziva u kolektorskom krugu struju koja zbog faznog kuta strmine zaostaje za ulaznim naponom oko 90°. U slučaju rezonancije nastat će uslijed struje I_i na titrajnom krugu istofazni napon U_i. Taj napon

tjera kroz kapacitet C_R i ulazni otpor tranzistora struju reakcije I_R koja je skoro u fazi s ulaznim naponom, uz pretpostavku da je ulazni otpor realna veličina i mnogo manji od kapacitivnog otpora kondenzatora C_R. Dakle i napon proizveden na ulazu strujom I_R ima isti fazni kut kao i struja. Kako to u praksi nije slučaj, eventualne se razlike faznog kuta mogu korigirati induktivitetom L_4, koji je tako odabran da kompenzira kapacitivni otpor ulazne impedancije.

Razlike faznog kuta strmine nastale zbog odstupanja u karakteristikama tranzistora mogu se izbjeći ako je L_4 promjenljiv. Induktivitet L_4 čini međutim dio međukruga preko kojeg je visokofrekventni predstupanj vezan sa samooscilirajućim stupnjem za miješanje, pa je promjena L_4 nepoželjna. Stoga je umjesto varijabilnog L_4 bolje upotrijebiti promjenljivi C_R, to više što se L_4 može mijenjati u užim granicama samo za faktor 2, dok C_R naprotiv možemo mijenjati i za faktor 5. Veličina napona oscilatora mjerena između emitera i mase treba da bude oko 100 mV.

107. — *Samooscilirajući UKV stupanj za miješanje*, prikazan na sl. 145, radi i za ulaznu frekvenciju u spoju sa zajedničkom bazom, koji se ovdje primjenjuje zato što je ulazni otpor u spoju baze na UKV području veći nego u stupnju sa zajedničkim emiterom (37 Ω prema 25 Ω). Neutralizacija provedena na KV području ovdje se ne može upotrijebiti zbog malog ulaznog otpora (jako prigušenje kruga). No to i nije nužno, budući da zbog malog napona oscilatora (100 mV) i relativno velike razlike između prijemne i oscilatorske frekvencije ne dolazi do štetnog zračenja oscilatora i međusobnog djelovanja ulaznog i oscilatorskog kruga.



Slika 145.
Shema tranzistorskog UKV tunera s tranzistorima OC615

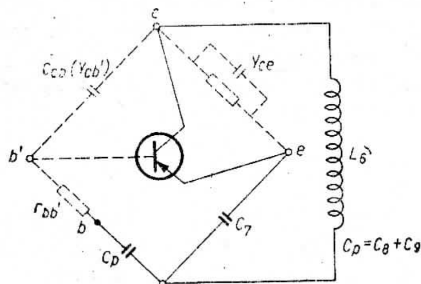
Svitak L_5 predstavlja s promjenljivim kondenzatorom C_4 i kondenzatorom C_{12} ugođeni krug oscilatora.

Zavojnica L_4 spojena na ulazu promjenljivog induktiviteta od 0,1 do 0,2 μH služi za određivanje amplitude oscilatora. Ugađanje se

vrši u sredini frekventnog područja oscilatora i uz sniženi napon baterije. Kako L_4 djeluje i na frekvenciju oscilatora, treba da se na kraju područja vrši korektura induktivitetom L_5. L_4 predstavlja za međufrekvenciju kratak spoj, pa je djelotvorni kapacitet, koji zajedno sa L_6 čini međufrekventni titrajni krug, jednak paralelnom spoju kapaciteta $C_{11} = 40$ pF i kapaciteta kolektor-baza, čija vrijednost iznosi 2 pF uz $f = 10{,}7$ MHz. Svitak L_7 služi za prilagođenje izlaznog otpora stupnja za miješanje i ulaznog otpora prvog međufrekventnog stupnja predočenog otporom R_7.

Otporima R_4, R_5 i R_6 određena je istosmjerna radna tačka, dok je kapacitetima C_7, C_8 i C_9 baza za visoku frekvenciju uzemljena.

108. — *Neutralizacija.* Kao i u sklopovima za miješanje s elektronkama (kapacitet anoda-rešetka), i u tranzistorima dolazi preko kapaciteta kolektor-baza do negativne reakcije za međufrekvenciju, koja smanjuje unutarnji otpor tranzistora, pa je time međufrekventni titrajni krug jako prigušen. Kapacitet C_{cb} (Y_{cb}') određen je izborom tranzistora i na njega se ne može utjecati. Upotrebom mosnog spoja međutim njegov se utjecaj može kompenzirati ili prekompenzirati pozitivnom reakcijom, tako da dobivamo *neutraliziran* ili *preneutraliziran* stupanj. Osnovni princip neutralizacije u mosnom spoju sastoji se u tome da se napon u jednoj dijagonali mosta ne pojavljuje u drugoj.



Slika 146.
Neutralizacija stupnja za miješanje za međufrekvenciju 10,7 MHz. $r_{bb'}$ je otpor priključka baze (10—15, Y_{ce} vodljivost kolektor—emiter

Sl. 146 pokazuje elemente međufrekventnog mosta koji služi za kompenzaciju negativne reakcije na taj način, da se između baze i emitera dovodi pozitivna reakcija.

Za generator međufrekventnog napona može se uzeti svitak L_6 između kolektora i mase. Baza i emiter nisu za međufrekventni napon na masi, jer kondenzatori C_7 i $C_8 + C_9$ ne predstavljaju za međufrekvenciju kratak spoj. Tako će se kondenzator C_7 naći u jednoj grani mosta, a C_p ($C_p = C_8 + C_9$) u drugoj. Ostale grane predstavljaju kapacitet kolektor-baza C_{cb} (Y_{cb}') i vodljivost kolektor-emiter (Y_{ce}). Otpornike R_4, R_5 i R_6 možemo zbog male vodljivosti zanemariti, dok je za međufrekvenciju svitak L_4 kratak spoj.

Međufrekventni naponi sa svitka L_6 ne smiju prodrijeti u drugu dijagonalu između baze b i emitera. Taj će uvjet biti ispunjen onda, kad je most u ravnoteži

$$\frac{Y_{ce}}{\omega C_7} = \frac{Y_{cb}'}{(\omega C_p + r_{bb})}.$$

U slučaju ravnoteže međufrekventni krug nije više gušen kapacitetom C_{cb} (Y_{cb}'), već samo unutarnjim otporom tranzistora.

U praksi se pozitivna reakcija povećava odabiranjem kapaciteta C_7 i C_p, i tako se preneutralizacijom može povećati unutarnji otpor tranzistora. Ako unutarnji otpor tranzistora iznosi u ravnoteži 30 kΩ, on je s elementima odabranima na shemi povećan dva puta, dakle iznosi 60 kΩ ($I_e = 0{,}9$ mA), čime će i gušenje kruga biti smanjeno.

Pojačanje napona stupnjeva za miješanje u određenoj radnoj tački računa se prema formuli

$$V_{uc} = \frac{S_c \sqrt{\left[2\pi C (B_1 - B_0) - \frac{1}{R_i}\right] R_c}}{2\pi C B_1} \quad . . . (62)$$

gdje su B_1 i B_0 pojasna širina opterećena i neopterećena kruga. U našem je slučaju $B_1 = 400$ kHz i $B_0 = 120$ kHz. Ukupni je kapacitet međufrekventnog kruga suma kapaciteta: $C_7 + C_{cb} = 42$ pF. Strmina miješanja uz emitersku struju 0,9 mA jest 11,5 mA/V, dok unutarnji otpor iznosi zbog neutralizacije 60 kΩ za 10,7 MHz. Realni dio ulazne impedancije prvog međufrekventnog stupnja iznosi 50 Ω. Uz navedene vrijednosti pojačanje napona je oko 6,5.

Pojačanje snage možemo izračunati prema formuli u odsjeku 87, ili iz izraza $V_{sc} = V^2_{uc} \frac{R_{ue}}{R_p}$, gdje je R_{ue} realni dio ulaznog otpora stupnja za miješanje, a R_p opteretni otpor, tj. realni dio ulazne impedancije prvog međufrekventnog stupnja. Mjerena ulazna vodljivost pri frekvenciji 93 MHz iznosi za ovaj stupanj (28—15 j) *mS*, znači $R_{ue} = 35\ \Omega$. Pojačanje je snage prema tome oko 30.

109. — U kolektorskom krugu visokofrekventnog predstupnja *visokofrekventni titrajni krug-međukrug* ugođen je na ulaznu frekvenciju, i preko kondenzatora C_6 prilagođen stupnju za miješanje. Budući da frekvencija oscilatora leži iznad prijemne frekvencije, međukrug predstavlja već velik kapacitet za ovu frekvenciju.

U slučaju maksimalnog pojačanja snage mora realni dio ulaznog otpora stupnja za miješanje, transformiran u kolektorski krug visokofrekventnog pretpojačala, da bude jednak paralelnom spoju unutarnjeg otpora R_i tranzistora T_1 i otpora titrajnog kruga R_0.

Prilagođenje se postiže kapacitetom C_6, čiji kapacitivni otpor mora da bude $x_{c6} = x_{es} + \sqrt{R_{es} R_p - R^2_{es}}$. R_p je paralelni spoj otpora titrajnog kruga R_0 i unutarnjeg otpora tranzistora T_1, dok su R_{es} i x_{es} realni dio i imaginarni dio ulaznog otpora tranzistora prikazanog u serijskom spoju. Sve vrijednosti odnose se na frekvenciju u sredini prijemnog područja (93 MHz). Uz prije dane podatke i uz $R_0 = 4$ kΩ kapacitet C_6 treba da iznosi 5,6 pF.

Visokofrekventno UKV pretpojačalo

110. — Tranzistor T_1 OC 615) u *visokofrekventnom pretpojačalu* radi u spoju sa zajedničkom bazom, gdje je zbog pozitivne reakcije pojačanje veće nego u emiterskom spoju. Zanimljivo je da predstupanj *nije potrebno neutralizirati.* Fazni kut strmine u ovom frekventnom području iznosi oko 90° pa zbog toga, i zbog malog kapaciteta povratnog djelovanja, dolazi do pozitivne reakcije (vidi odsjek 106). Ta pozitivna reakcija povećava unutarnji i izlazni otpor tranzistora približno za 40%. Rezonantni otpor međukruga u kolektoru tranzistora T_1 iznosi uz priključen samooscilirajući stupanj za miješanje (T_2) približno 1,5 kΩ, dok je unutarnji otpor tranzistora T_2 oko 10 kΩ, pa povećanje ulaznog otpora neznatno utječe na pojačanje stupnja, budući da postoji potprilagođenje. Pozitivna reakcija povećava i ulazni otpor tranzistora, pa u slučaju da je provedeno prilagođenje na ulazu s induktivitetima L_1 i L_2 i kondenzatorima C_2 i C_3 dobiva se veće pojačanje snage. Radna tačka tranzistora T_1 određena je otporima R_1, R_2 i R_3, tako da struja emitera iznosi oko 1,4 mA. Uz ovu veličinu emiterske struje postignuto je najveće pojačanje i najpovoljniji odnos signal-šum. Povećanjem struje postiglo bi se doduše veće pojačanje, ali zato lošiji odnos signal-šum.

Baza je uzemljena kondenzatorom C_3. Svitak L_3 čini s promjenljivim kondenzatorom C_4 i kondenzatorom C_5 titrajni krug-međukrug u kolektoru i predstavlja radni otpor ovog stupnja. Veličina kapaciteta C_5 odabrana je tako da se može obuhvatiti cijelo UKV područje.

Priključivanje antene na ulaz visokofrekventnog predstupnja vrši se preko ulaznog titrajnog kruga, koji je usklađen na srednju prijemnu frekvenciju. Otpor zračenja antene prilagođuje se s transformatorom L_1 i L_2 i oba kapaciteta C_1 i C_2, koji sačinjavaju ulazni titrajni krug, ulaznom otporu tranzistora. Prilagođenje s kondenzatorima C_1 i C_2 omogućuje izvedbu zavojnice većeg induktiviteta, budući da se pri malim induktivitetima teško dobiva tačan odvojak na zavojnici. Prednost kapacitivnog prilagođenja je i ta da su viši harmonici oscilatora preko kapaciteta C_1 spojeni na masu.

Realni dio ulaznog otpora predstupnja koji nije neutraliziran povećan je u datoj radnoj tački od 37 Ω otprilike na 52 Ω, pa je prijenosni odnos uz otpor antene 60 Ω

$$n_{ant} = \sqrt{\frac{R_{ue}}{R_a}} = \sqrt{\frac{52}{60}} = 0{,}93$$

Mijenjajući odnose kapaciteta kod prilagođenja ne smije se zaboraviti da kapaciteti C_1 i C_2 čine dio titrajnog kruga, pa im ukupna vrijednost mora da ostane ista. Čvrstom vezom između zavojnica L_1 i L_2 postignuto je jednoliko pojačanje u cijelom prijemnom području, uz povoljan odnos signal-šum i na krajevima područja. Da bi se održala što čvršća veza između zavojnica L_1 i L_2 one su motane bifilarno. Na krajeve svitka

L_1 priključuje se antena otpora isijavanja 240 Ω, a između odvojka i mase antena otpora 60 Ω.

Pojačanje napona određuje se prema formuli pojačanja napona stupnja za miješanje u odsjeku 108, samo što je u ovom slučaju $S = 17$ mA/V, $C = 33$ pF, $B_1 = 3{,}4$ MHz, $B_0 = 1{,}2$ MHz $R_i = 10$ kΩ i realni dio izlaznog otpora tranzistora T_2 $R_e = 35$ Ω. Vrijednosti B_0 i B_1 odnose se na frekvenciju 93 MHz.

UKV tuner (tjuner)

111. — Kao što smo vidjeli, UKV prijemnik obavezno ima visokofrekventno pojačalo ispred stupnja za miješanje (sl. 145). Ova su dva stupnja kombinirana u posebnu jedinicu, kojoj je i u našem jeziku zadržan engleski naziv *tuner* (čitaj tjuner). Za ugradnju ovog stupnja postoje, uz postignut dobitak pojačanja, i drugi razlozi. Prvo, oscilator je odijeljen od antene, pa je isijavanje znatno smanjeno. Drugi je razlog u potiskivanju šuma. Naime, u stupnju za miješanje šum je jači, pa da bi se postigao povoljniji odnos signal-šum, potrebno je da korisni signal na ulazu tog stupnja bude što veći.

Zbog stabilnog rada nikakva se prespajanja ne vrše na titrajnim krugovima (kao u AM prijemniku), već samo u dovodima napona i u međufrekventnom krugu. Negativan pol izvora napajanja u tuneru obično je uzemljen, i titrajni su krugovi spojeni direktno na šasiji. Dovođenje pozitivnog pola baterije vrši se prigušnicama L_8 i L_9 koje s kapacitetima C_{13}, C_{14} i C_{15} sačinjavaju filtre za sprečavanje povratnog djelovanja međufrekvencije.

Ukupno naponsko pojačanje tunera od antene do izlaza jest: $V_{uT} = 16{,}35$, a pojačanje snage $V_{ST} = 320$.

Ovisnost elemenata o temperaturi

112. — Pri višim frekvencijama valja veliku pažnju obratiti izboru ugrađenih elemenata: otpornicima, zavojnicama i kondenzatorima. Specijalnom izvedbom (bifilarno namatanje) smanjuju se štetni kapacitet i induktivitet otpora. Što su zavoji međusobno više razmaknuti i što je manji promjer zavojnice, to je štetni kapacitet manji. Motani kondenzatori posjeduju znatne induktivitete dovodnih žica i folija, koji kod pojedinih frekvencija kompenziraju kapacitet kondenzatora, a uz to su i gubici u papirnim kondenzatorima znatni. Zato se na UKV području koriste isključivo keramički kondenzatori. Oni su podijeljeni u dvije grupe: keramički kondenzatori velikog kapaciteta koji su upotrebljeni za filtriranje, i kondenzatori u titrajnim krugovima u kojima je naročito važno temperaturno vladanje. Na primjer, kondenzatori C_1 i C_2 obično su keramički pločasti kondenzatori, tako odabrani da s induktivitetom dovoda čine serijski rezonantni krug na frekvenciji 100 MHz.

113. — Posebnu pažnju treba obratiti *temperaturnoj ovisnosti elemenata* upotrebljenih u *tuneru*, a napose u oscilatoru. Pomicanje frekvencije oscilatora određuju promjene vrijednosti elemenata u titrajnom krugu, prvenstveno kondenzatori i zavojnice, a dakako i unutarnji kapaciteti tranzistora. Uzroci tome mogu biti različiti: promjene temperature, starenje itd. Najznačajniji je uzrok svakako promjena temperature.

Da bi se pomicanje frekvencije smanjilo potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere.

Kondenzatori i zavojnice imaju u pravilu pozitivan temperaturni koeficijent ($\alpha_{0T} = \frac{\Delta C}{C\ T}$, temperaturni koeficijent pokazuje koliko će se promijeniti kapacitet poveća li se temperatura za 1° C), tj. povišenjem temperature snizuje se rezonantna frekvencija titrajnog kruga. Kombiniranjem elemenata s različitim temperaturnim koeficijentom možemo dobiti potreban temperaturni koeficijent.

Tako na primjer za serijsku kombinaciju kondenzatora vrijedi

$$\alpha_s = \frac{C_1 \alpha_2 + C_2 \alpha_1}{C_1 + C_2}$$

a za paralelnu

$$\alpha_p = \frac{C_1 \alpha_1 + C_2 \alpha_2}{C_1 + C_2}$$

Kombiniranjem kondenzatora koji imaju određen temperaturni koeficijent možemo dobiti potreban koeficijent kondenzatora $C_{13} : \alpha_{13} = -650 \cdot 10^{-6}/°C$. Tako stabiliziran oscilator praktički je neovisan o temperaturi u području od —20°C do 50°C.

Drugi važni faktor o kojem ovisi frekvencija oscilatora jest *napon napajanja*. Promjenom napona baterije mijenja se *dinamički* kapacitet unutar tranzistora, a time i frekvencija oscilatora. Uz promjenu napona za 30% frekvencija se mijenja za više od 0,5 MHz. U slučaju da je upotrebljen izvor kojem se jako mijenja napon napajanja (autoprijemnik) potrebno je provesti stabilizaciju napona s tranzistorom.

Pitanja

61. Koja su dva općenita tipa tranzistorskih oscilatora? Koje su vrste slične sklopovima sa elektronkama?
62. Nacrtaj shemu stupnja za miješanje! Zašto je kolektor gotovo uvijek spojen preko odvojke na međufrekventni transformator?
63. Zašto je u kratkovalnim prijemnicima u stupnju za miješanje potrebna neutralizacija?
64. Kakav se spoj za miješanje koristi na UKV području?
65. O čemu ovisi strmina miješanja? Kako je definirana?
66. Definiraj pojačanje miješanja? Da li se R_{uc}, R_{ic} i S_c mijenjaju s promjenom radne tačke.

67. Zašto se spoj sa zajedničkom bazom najviše upotrebljava na UKV području u oscilatorskim spojevima? Nacrtaj vektorski prikaz struje i napona u takvu oscilatoru!
68. Čime se mogu korigirati razlike u faznim kutevima strmine u stupnju nastale zbog odstupanja u karakteristikama tranzistora?
69. Zašto u UKV stupnju za miješanje nije potrebna neutralizacija?
70. Zbog čega se provodi neutralizacija stupnja za miješanje za međufrekvenciju?
71. Šta je to preneutralizacija?
72. Koji elementi su kritični u izvedbi tunera?
73. Kada je potrebno provesti stabilizaciju napona napajanja?

Tranzistorski prijemnici

Općenito o tranzistorskim prijemnicima

114. — Osim malo izuzetaka tranzistorski prijemnici u većini slučajeva konstruirani su prema superheterodinskom principu. Slično kao i prijemnici s elektronkama tranzistorski prijemnici sadrže stupanj za miješanje, oscilator, međufrekventno pojačalo, niskofrekventno pojačalo i izlazni stupanj.

Budući da im je napon napajanja nizak a impendancije relativno male, struje su dosta velike i dimenzioniranje dijelova mora se promatrati s ove strane.

Nabrojeni stupnjevi koji sačinjavaju prijemnik već su posebno obrađeni u predašnjim odsjecima, a za opisane vrste prijemnika bit će ukratko protumačeni.

Konstrukcija prijemnika određena je u prvom redu, selektivnošću, osjetljivošću, širinom pojasa, napon napajanja itd.

Selektivnost prijemnika ovisi o broju i faktoru kvalitete upotrebljenih visokofrekventnih krugova i MF-krugova. Ipak selektivnost je uglavnom određena MF pojačalom, budući da se ne upotrebljava više VF predstupanj. Izlazna snaga prijemnika ovisi o izvedbi izlaznog pojačala i tipu tranzistora.

Prijemnik sa šest krugova i šest tranzistora

115. — Pošto što smo razmotrili principe rada pojedinih stupnjeva prijemnika, upoznat ćemo se i s konstrukcijom prijemnika. Pri tom se naravno moramo ograničiti samo na pojedine načine izvedbi. Najprije ćemo govoriti o standardnom spoju prijemnika sa šest tranzistora, dvije diode i šest titrajnih krugova. Jedan tranzistor radi kao *samooscilirajući stupanj* za miješanje, dva u *međufrekventnom dijelu,* a tri u *niskofrekventnom* (od kojih su pak dva upotrebljena u protufaznom B-pojačalu). Od dioda jedna služi za *demodulaciju,* a druga za ARP. Za napajanje su potrebne četiri štap-baterije po 1,5 V. Prijemnik je izveden u tehnici štampanih spojeva čime je povećana ekonomičnost, smanjena težina aparata, a ima dva valna područja. Shema aparata pokazana je na sl. 147. Stupanj za miješanje izveden je aditivno u samoscilirajućem spoju (vidi odsjek 100). Ulazni stupanj sastavljen je od promjenljiva kondenzatora C_1 i zavojnice na feritnom štapu (L_1, L_2). Taj krug prilagođen je pomoću sekundarne zavojnice (L_3, L_4) ulaznom otporu tranzistora. Željeno

Slika 147.
Shema dvovalnog tranzistorskog prijemnika »Vikend« (SV, DV) »Radioindustrija Zagreb«

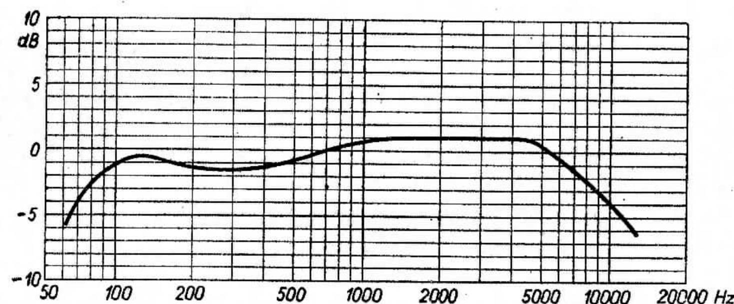
valno područje uključuje se preklopnikom sa tri položaja, dok se tipkom »*I*« isključuje aparat. Tranzistor za miješanje OC 169 radi kao oscilator s uzemljenom bazom i induktivnom povratnom vezom koja je postignuta zavojnicama L_5 i L_7 za srednji, a sa L_6 i L_8 za dugi val. Kolektor tranzistora OC 169 dobiva istosmjerni napon preko zavojnice prvog međufrekventnog transformatora i reakcijske zavojnice oscilatora uključenog valnog područja. Djeliteljem napona $R_1 — R_2$ određena je radna tačka tranzistora, i stabiliziran istosmjerni napon baze, a otpornikom R_3 u emiterskom krugu postignuta je temperaturna stabilizacija, tako da je uz to ovaj stupanj neovisan u širem području o promjeni napona baterije i razlici u karakteristikama tranzistora. Prilagođenje otpora emiterskog i oscilatorskog kruga postignuto je odvojkom na zavojnici L_5, odnosno L_6.

Dioda OA 79 služi za automatsku regulaciju glasnoće. Prednapon diode podešava se trimer-potenciometrom R_4.

116. — *Dvostepeno međufrekventno pojačalo* izvedeno je kao i stupanj za miješanje s tranzistorima OC 169 i sadrži tri međufrekventna kruga (vidi odsjek 88). Pomoću sekundarnih zavojnica L_{10}, L_{12} i L_{14} izvedeno je prilagođenje otpora u krugu baza ovih tranzistora i diode demodulatora. Da bi se smanjilo prigušenje krugova, odvojcima na zavojnicama drugog i trećeg međufrekventnog kruga izvedeno je prilagođenje izlaznog otpora tranzistora. Korištenjem relativno velikih vrijednosti kapaciteta međufrekventnog titrajnog kruga (C_8, C_{16}, C_{12}), i upotrebom tranzistora OC 169, pojačalo radi tako stabilno da neutralizacija nije potrebna.

117. — *Demodulator i niskofrekventno pojačalo.* Demodulacija se vrši germanijevom diodom OA 70. Demodulacioni napon dobiven na potenciometru R_{12} za regulaciju glasnoće dovodi se na ulaz niskofrekventnog pojačala, dok se dio tog napona odvodi na bazu prvog međufrekventnog tranzistora za automatsku regulaciju. U prijemniku je izveden uobičajeni niskofrekventni dio, koji se sastoji od pobudnog stupnja izvedenog s tranzistorom OC 71 i protutaktnog pojačala s tranzistorima 2 × OC 72. Izlazno pojačalo radi u klasi B, čime je postignut veći stupanj korisnog djelovanja, a opterećenje je baterije neznatno kad nema signala. U tvorničkim se podacima preporučuje takav izbor radne tačke da teče određena struja mirovanja. Na taj je način izbjegnuto povećano nelinearno izobličenje koje nastaje zbog različitih karakteristika tranzistora unutar para, ili kad je pojačalo pobuđivano malim signalom. Propisano ukupna kolektorska struja od 3 mA za tranzistore 2 × OC 72 može se regulirati otpornikom R_{17}. Radi dobivanja što veće korisne snage odabrana je temperaturna stabilizacija sa NTC otpornikom R_{18} i djeliteljem napona. Da bi se dobila linearna promjena otpora s temperaturom, stavljen je NTC otporniku paralelno otpornik R_{19}. Izlazna snaga kod pune pobude jest 250 mW. Tranzistor OC 71 vezan je transformatorom prijenosnog odnosa 1 : (2,13 + 2,13) na ulaz izlaznog stupnja.

Zbog smanjenja rasipnog induktiviteta namotaji su motani bifilarno. Izlazni transformator prijenosnog odnosa 7,3:1, potreban za prilagođenje impedancije, napaja trovatni zvučnik. Pojačanje snage niskofrekventnog stupnja za 50 mW iznosi 64 dB. Frekventna karakteristika niskofrekventnog pojačala dana je na sl. 148. Filtarski članovi R_{16}—C_{21}



Slika 148.
Prigušna karakteristika niskofrekventnog dijela prijemnika

i C_{23}, R_6—C_{13} i R_{10}—C_{17} služe za sprečavanje galvanske reakcije. Konačno, na sl. 149 i 150 vidimo izgled jednog tvorničkog tranzistorskog prijemnika.

Ultrakratkovalni i srednjevalni prijemnik sa devet tranzistora

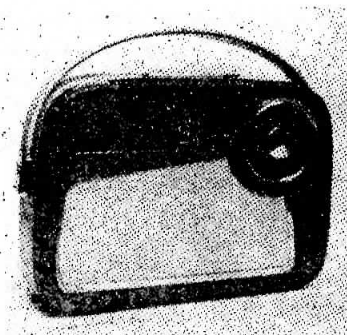
118. — Kao slijedeći opisat ćemo kombinirani AM—FM super sa devet tranzistora, jedanaest FM titrajnih krugova i sedam AM krugova (sl. 151).

Budući da na UKV području tranzistori rade blizu granične frekvencije, za pojačanje je potrebno više tranzistora nego u prijemnom AM dijelu.

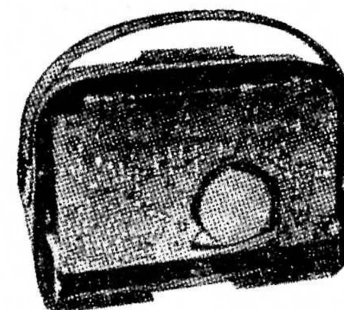
UKV dio do ratio-detektora sastoji se od tunera kojeg čine visokofrekventno predpojačalo i stupanj za miješanje (dva tranzistora OC 615), i međufrekventnog pojačala koje, uključivši i pobudni stupanj ratio-detektora, ima tri tranzistora OC 614.

Za AM prijemni dio potreban je samoscilirajući stupanj za miješanje i dvostepeno međufrekventno pojačalo, tj. samo tri tranzistora. Prijemnik je dakle tako izveden da se od ova tri tranzistora u FM prijemu međufrekventnog pojačala jedan upotrebljava u srednjevalnom području kao samooscilirajući stupanj za miješanje, a dva za međufrekventno pojačanje 460 kHz. Ovom su izvedbom izbjegnuta prespajanja u UKV tuneru.

Čitav se aparat sastoji od: *UKV tunera, FM međufrekventnog stupnja, samooscilirajućeg stupnja za srednji val, međufrekventnog stupnja za AM, ratio-detektora, demodulatora* i *niskofrekventnog pojačala*, koje je zajedničko za oba područja i prespaja se preklopnikom na željeno valno područje.



Slika 149.
Tranzistorski prijemnik »Arena«

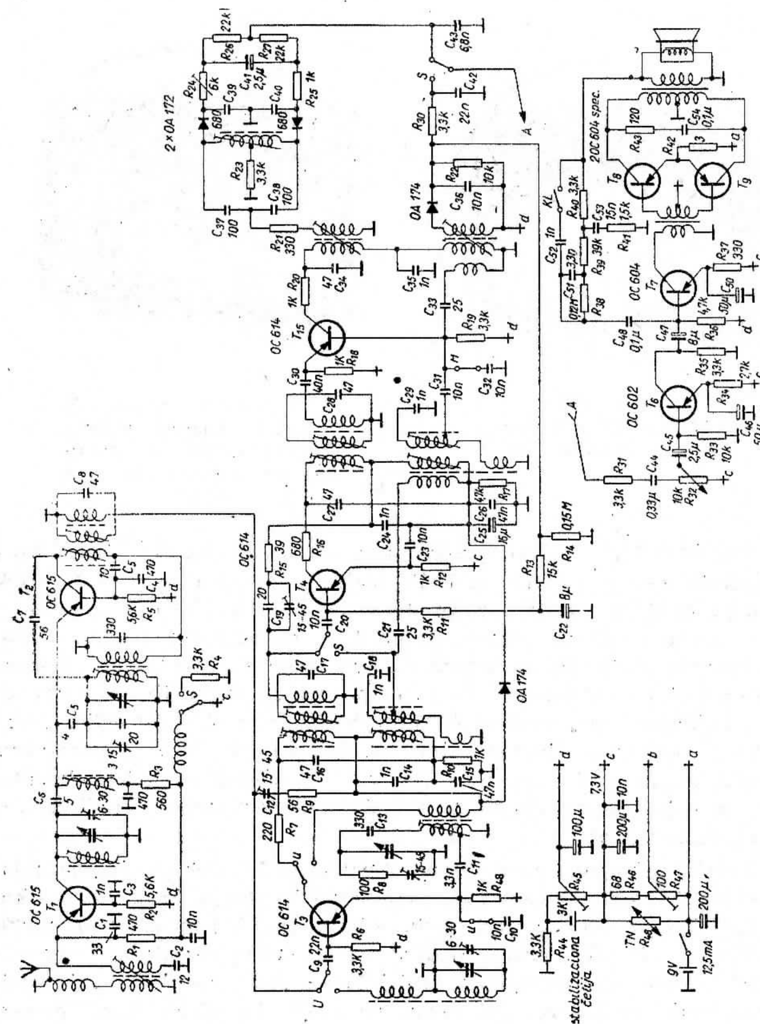


Tranzistorski prijemnik »Arena« pogled straga. Na slici vidimo izvedbu sa štampanim spojevima

119. — O *UKV tuneru* govorili smo već u odsjeku 111. *Ulazni krug* visokofrekventnog pojačala u UKV području ugođen je u sredini FM područja, dakle za 93 MHz. Kapacitetima C_1 i C_2 izvršeno je prilagođenje antene i ulaznog otpora tranzistora za potrebnu širinu pojasa. Oba tranzistora OC 615 u tuneru rade u spoju sa zajedničkom bazom. Baze su preko kondenzatora C_3 i C_4 spojene na masu. Kondenzator C_4 ima s induktivitetom vodova serijsku rezonanciju oko 100 MHz. Tranzistor T_1 nije neutraliziran i njegovo povratno djelovanje poboljšava antenski prijenos. U njegovu kolektoru leži usklađen visokofrekventni krug, na koji je kapacitetom $C_6 = 5$ pF vezan emiter samooscilirajućeg stupnja za miješanje.

Pojačanje napona ovog sklopa otprilike je 2,5, dok je ukupno pojačanje oko 25. Kondenzatorom C_7 oscilatorski je titrajni krug vezan s kolektorom tranzistora T_2, koji ujedno djeluje kao kapacitet prvog međufrekventnog titrajnog kruga. Pozitivna je reakcija oscilatora postignuta kondenzatorom C_5. Varijabilni induktivitet služi za određivanje optimalnog rada oscilatora, pri čemu se mogu korigirati fazni pomaci strmine nastali zbog odstupanja u karakteristikama tranzistora.

120. — *Međufrekventno FM pojačalo i demodulator.* Međufrekventno pojačalo sastoji se od tri tranzistora OC 614 vezana međufrekventnim pojasnim filtrima. Prva dva stupnja rade u spoju sa zajedničkim emiterom, a pobudni stupanj u spoju sa zajedničkom bazom. Dok ovaj stupanj ne zahtijeva neutralizaciju, prva se dva moraju neutralizirati, i to



Slika 151. Ultrakratkovalni i srednjevalni prijemnik sa devet tranzistora, jedanaest FM i sedam AM krugova

se postiže elementima R_9, R_{15} i C_{12}, C_{19}. Veličina napona neutralizacije dobije se kapacitivnim djeliteljima napona C_{14} - C_{16} i C_{24} - C_{27}. Kapacitet prvog međufrekventnog filtra uglavnom je kondenzator C_7, koji istovremeno spaja kolektor tranzistora T_1 s krugom oscilatora. U kolektorskim krugovima tranzistora T_3, T_4, T_5 nalaze se otpornici R_7, R_{16}, R_{20} koji pri pobudi tranzistora smanjuju djelovanje nastalo promjenama kolektorskih kapaciteta na međufrekventne krugove. Pojačani međufrekventni signal dovodi se s tranzistora T_5 ratio-detektoru s diodama OA 174. Niskofrekventni napon na balansnim otporima R_{26} i R_{27} dovodi se preko sklopke na regulator glasnoće R_{32} niskofrekventnog pojačala (tačka A).

121. — *AM dio prijemnika.* (Preklopnik se nalazi u položaju S.) *Samooscilirajući stupanj za miješanje.* Prvi međufrekventni stupanj radi i kao samooscilirajući stupanj za miješanje za srednji val. Pri tom se baza spaja preko preklopnika s odvojkom ulaznog titrajnog kruga, koji za antenu upotrebljava feritni štap. Prespajanje se vrši i u izlaznom krugu i u bazi tranzistora T_4. Oscilator radi u spoju sa zajedničkom bazom (vidi odsjek 101). Otpornik 100 oma u kolektorskom krugu, serijski spojen s trimerom, služi za dobivanje jednolikog napona oscilatora unutar prijemnog područja.

122. — *Međufrekventno pojačalo.* Međufrekventni signal iz stupnja za miješanje dovodi se bazi tranzistora T_4. Prilagođenje ulaznog i izlaznog otpora ovih stupnjeva postizava se odvojkom na sekundarnoj zavojnici pojasnog filtra. Ako je potrebna neutralizacija, ona se provodi sa svitka za neutralizaciju primarnog kruga preko C_{21} i C_{33} na bazu. Posljednji međufrekventni tranzistor T_5 spojen je preko međufrekventnog titrajnog kruga s demodulatorskom diodom. Napon za ARP odvodi se preko otpornika R_{13} na bazu tranzistora T_4. Ovdje je također provedena ARP prigušenjem prvog međufrekventnog kruga diodom OA 174. Regulacijom nastaje i pad napona na otporu R_{17} s kojim je spojena dioda, pa uz veliku amplitudu ona postaje vodljivom i prigušuje prvi AM međufrekventni krug.

123. — *Niskofrekventno pojačalo.* Niskofrekventno pojačalo sastoji se od pretpojačala (OC 602), pobudnog stupnja (OC 604) i protufaznog B-pojačala s tranzistorima (2 × OC 604 spec.), koje daje izlaznu snagu oko 700 mW. U niskofrekventnom dijelu provedena je negativna reakcija od sekundara izlaznog transformatora na ulaz pobudnog stupnja (vidi odsjek 75). Preklopnik *KL* služi za promjenu boje tona.

124. — *Određivanje radne tačke.* Kako je poznato, za vrijeme upotrebe pada napon baterije i time dolazi do smanjenja pojačanja i izobličenja u reprodukciji. Zato je potrebno provesti stabilizaciju radne tačke odnosno napona baze, čime se dobije i neovisnost emiterske struje o

naponu baterije. To se postiže stabilizacijskom ćelijom ili selenskom diodom. Ako je npr. selenska dioda spojena preko otpora s baterijom, kroz nju će teći struja proporcionalna pogonskom naponu. Zbog nelinearnosti karakteristike diode promjene su pada napona na diodi manje nego promjene pogonskog napona. Ako takav stabilizirani napon napaja bazu tranzistora, stabilizirana je i struja emitera. U prijemniku na shemi, sl. 151, svi stupnjevi dobivaju stabiliziran napon baza-emiter. Stabilizacija ovog napona provedena je stabilizacijskom ćelijom 1,5 V, koja je preko otpornika R_{44} spojena s baterijom. Baze tranzistora spojene su s potrebnim naponima preko odgovarajućih otpora. Prijemnik se napaja s baterijom 9 V i u stanju mirovanja troši struju oko 12 mA. Relativno visok pogonski napon uzima se zato jer UKV oscilator radi dobro tek iznad 5 V.

ABECEDNO KAZALO

Prvi broj označuje **stranicu**, **drugi** (u zagradi) odsjek

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

R

S

Š

T

U

V

Y

Z

Ž

SADRŽAJ

I. Opskrba energijom uređaja s elektronkama

II. Niskofrekventno pojačalo

III. Demodulatori

IV. Povratna veza ili reakcija

V. Visokofrekventno pojačalo

VI. Prijemnici sa superponiranjem

VII. Baterijski prijemnici

VIII. Prijemnici za kratke valove

IX. Odašiljači

X. Odašiljači i prijemnici na ultrakratkim valovima

DODATAK UZ I DIO

Frekventna modulacija

Fizikalne osnove tranzistora

Znak: 317 S
Izdanje:

Dr WALTER DAUDT
RADIO-TEHNIKA

II DIO

Naslov originala:
FUNKTECHNIK
Teil II

Preveli:
Ing. ROMAN GALIĆ
Prof. dr ing. TIHOMIL JELAKOVIĆ
Ing. VJEKOSLAV MUŽINIĆ

Izdavač:
TEHNIČKA KNJIGA
Zagreb, Jurišićeva 10

Uredništvo srednjoškolskih udžbenika

Glavni urednik:
ZVONIMIR VISTRIČKA

Urednik edicije:
IVAN UREMOVIĆ

Tehnički urednik:
ŽARKO PAVUNIĆ

Tisak:
ŠTAMPARIJE VJESNIK, ZAGREB

Tisak dovršen:
SRPNJA 1963.